



# Exploração de Tecnologias Digitais para Personalização e Imersão em Treinos Indoor

Hélder Miguel Gonçalves Pereira - ee9369

Thesis presented to the School of Technology and Management in the scope of the Master in Informatics.

Supervisor:  
Prof. Paulo Matos

Bragança  
Dezembro de 2025





# Exploração de Tecnologias Digitais para Personalização e Imersão em Treinos Indoor

**Hélder Miguel Gonçalves Pereira - ee9369**

Thesis presented to the School of Technology and Management in the scope of the  
Master in Informatics.

Supervisor:

Prof. Paulo Matos

Bragança

Dezembro de 2025



# Dedicação

Aos meus pais e à minha família, pelo apoio incondicional, e ao Professor Doutor Paulo Matos, pela orientação e incentivo ao longo deste percurso académico.

# Agradecimentos

O autor expressa o seu profundo agradecimento ao Professor Doutor Paulo Matos, pela orientação, disponibilidade e rigor científico demonstrados ao longo de todo o trabalho de dissertação. O seu acompanhamento constante, as sugestões técnicas e o incentivo à investigação foram essenciais para o sucesso deste projeto.

Agradece igualmente ao Instituto Politécnico de Bragança e à Comissão do Curso de Mestrado em Informática, pelo apoio institucional e pelas condições disponibilizadas para o desenvolvimento desta dissertação.

Um reconhecimento especial é também dirigido aos colegas e amigos que acompanharam este percurso académico, pela partilha de conhecimento e pelo apoio nos momentos de maior exigência.

Por fim, o autor manifesta a sua gratidão à sua família, pelo apoio incondicional, paciência e motivação que tornaram possível a concretização deste trabalho.

# Abstract

This dissertation investigates the potential of a set of digital technologies to support personalized and immersive indoor training experiences. The work focuses on the integration of heterogeneous data sources—including *Bluetooth Low Energy* sensors, native health platforms such as *Health Connect*, and multimedia content enriched with contextual information—as well as on the adoption of hybrid *edge-cloud* processing models for efficient data management and real-time feedback. To validate this technological exploration, an experimental tool named *GymTrail* was conceived and implemented. This tool integrates the studied components and enables the assessment of their interoperability, limitations, and practical feasibility. The system embodies a modular architecture based on multimedia workout plans (*WPLANs* and *UWPLANs*), incorporating physiological metrics and environmental variables to dynamically adjust training intensity. The results demonstrate the technical viability of combining open technologies, biometric sensing, contextual data, and *edge-cloud* services to deliver more adaptive, personalized, and engaging indoor training experiences. This work provides evidence that such integrated digital solutions constitute a robust foundation for the advancement of connected and user-oriented fitness applications.

**Keywords:** immersive training, *edge-cloud*, *Bluetooth Low Energy*, *Health Connect*, immersive experiences.

# Resumo

Esta dissertação investiga o potencial de um conjunto de tecnologias digitais para suportar experiências de treino indoor personalizadas e imersivas. A análise centra-se na integração de fontes heterogêneas de dados — sensores *Bluetooth Low Energy*, módulos nativos de saúde como o *Health Connect*, e conteúdos multimédia enriquecidos com informação contextual — bem como na utilização de modelos *edge-cloud* para processamento leve e sincronização de dados. Para validar esta exploração tecnológica foi concebida uma ferramenta experimental, designada *GymTrail*, que integra os componentes estudados e permite observar, em ambiente real, a sua interoperabilidade, limitações e potencial de aplicação. A ferramenta materializa uma arquitetura modular baseada em planos de treino multimédia (*WPLANs* e *UWPLANs*), incorporando métricas fisiológicas e variáveis ambientais para ajustar o esforço em tempo real. Os resultados obtidos demonstram a viabilidade técnica desta abordagem e evidenciam que a combinação de tecnologias abertas, sensores biométricos, dados contextuais e serviços em *edge-cloud* constitui uma base sólida para a criação de experiências de treino indoor mais personalizadas, adaptativas e orientadas ao utilizador.

**Palavras-chave:** treino imersivo, *edge-cloud*, *Bluetooth Low Energy*, *Health Connect*, experiências imersivas.

# Conteúdo

<b>1</b>	<b>Introdução</b>	<b>1</b>
1.1	Contexto e Motivação . . . . .	1
1.2	Problema de Investigação e Objetivos . . . . .	3
1.3	Metodologia em Linhas Gerais . . . . .	5
1.4	Contribuições e Estrutura da Dissertação . . . . .	5
<b>2</b>	<b>Estado da Arte</b>	<b>7</b>
2.1	Tecnologias imersivas aplicadas ao fitness e desporto . . . . .	7
2.2	Integração de sensores e <i>wearables</i> . . . . .	10
2.3	Personalização através de Inteligência Artificial e Dados Biométricos . . . . .	12
2.4	Arquiteturas abertas suportadas em <i>cloud</i> e <i>edge computing</i> . . . . .	15
2.4.1	Estratégias de Cache em Arquiteturas <i>Edge-Cloud</i> . . . . .	17
<b>3</b>	<b>Metodologia e Arquitetura Proposta</b>	<b>19</b>
3.1	Metodologia . . . . .	19
3.2	Arquitetura Proposta . . . . .	20
3.3	Tecnologias Utilizadas . . . . .	24
3.4	Interface e Experiência do Utilizador . . . . .	27
<b>4</b>	<b>Análise e Descrição das Interfaces da Aplicação</b>	<b>31</b>
4.1	Análise Funcional da Aplicação . . . . .	31
4.2	Interfaces da aplicação . . . . .	34

4.2.1	Interfaces do subsistema de Criação de Conteúdos . . . . .	36
4.2.2	Interfaces do subsistema de Utilização de Conteúdos . . . . .	39
<b>5</b>	<b>Integração de Sensores e Dispositivos</b>	<b>45</b>
5.1	Integração via Google Health Connect . . . . .	46
5.1.1	Arquitetura e implementação nativa . . . . .	46
5.1.2	Fluxo de permissões e autorização . . . . .	48
5.1.3	Interface de estatísticas e resultados obtidos . . . . .	49
5.1.4	Síntese e contributo técnico . . . . .	50
5.2	Integração Bluetooth Low Energy (BLE) e Protocolos FTMS . . . . .	51
5.3	Integração com Wear OS . . . . .	56
5.4	Cálculos e Otimização Técnica do Sistema . . . . .	60
5.4.1	Cálculo de Distâncias e Velocidades . . . . .	60
5.4.2	Ajuste Dinâmico e Sincronização Multimédia . . . . .	61
5.5	Síntese . . . . .	62
<b>6</b>	<b>Conclusões e Trabalho Futuro</b>	<b>63</b>
6.1	Contribuições da Dissertação . . . . .	63
6.2	Trabalhos Futuros . . . . .	64
6.3	Produção Científica Associada . . . . .	66
6.4	Considerações Finais . . . . .	67
<b>A</b>	<b>Dados Técnicos Complementares</b>	<b>A1</b>
A.1	Principais UUIDs do Protocolo FTMS . . . . .	A1

# Lista de Figuras

3.1	Arquitetura funcional da <i>GymTrail</i> , com os subsistemas de <i>Criação de Conteúdos</i> (CMAKER) e de <i>Utilização de Conteúdos</i> (Activity User), a camada de integração de sensores ( <i>Health Connect</i> e <i>FTMS BLE</i> ) e os serviços <i>Firebase</i> responsáveis pela persistência e sincronização. . . . .	21
3.2	Fluxo de criação e utilização dos planos de treino na plataforma <i>GymTrail</i> , evidenciando a comunicação entre CMAKER, <i>Firebase</i> e <i>Activity User</i> . . .	23
3.3	Protótipos representativos desenvolvidos em Figma, ilustrando os ecrãs de <i>Login</i> , <i>Perfil do Utilizador</i> e <i>Lista de Treinos</i> . . . . .	28
4.1	Diagrama de casos de uso da aplicação <i>GymTrail</i> . . . . .	32
4.2	Ecrãs principais da aplicação: <i>Home</i> e <i>Perfil do Utilizador</i> . . . . .	35
4.3	Ecrã de gravação de trilhos nas orientações vertical e horizontal. . . . .	37
4.4	Ecrã <i>Trail Data</i> com visualização do vídeo e carregamento automático das métricas extraídas da gravação. . . . .	38
4.5	Modos de seleção de planos de treino: <i>Mapa</i> (esquerda) e <i>Lista de Treinos</i> (direita). . . . .	40
4.6	Ecrã <i>Player</i> nas orientações vertical e horizontal. . . . .	41
4.7	Integração da <i>GymTrail</i> com o <i>Health Connect</i> . . . . .	42
4.8	Interfaces BLE: deteção de dispositivos (esquerda), relatório técnico dos serviços identificados (centro) e análise automática dos UUIDs (direita). . .	43
5.1	Gestão de permissões do <i>Health Connect</i> : gestor geral (esquerda), lista de aplicações com acesso (centro) e permissões atribuídas à <i>GymTrail</i> (direita). . .	49

5.2	Ecrã de <i>Estatísticas</i> da aplicação <i>GymTrail</i> , com valores diários obtidos através do <i>Health Connect</i> . . . . .	50
5.3	Fluxo geral da integração BLE na aplicação, desde a deteção até à classificação dos serviços, evidenciando o ponto em que ocorre a intervenção opcional do módulo de IA. . . . .	54
5.4	Aplicação <i>GymTrail Wear OS</i> : (a) ícone da aplicação no menu principal do relógio; (b) ecrã de execução com leitura de sensores locais ( <i>accelerometer</i> , <i>gyroscope</i> e contagem de passos). As capturas correspondem à versão emulada e apresentam formato quadrado típico dos dispositivos <i>Wear OS</i> . .	56

# Capítulo 1

## Introdução

A prática desportiva tem vindo a assumir um papel cada vez mais relevante na promoção da saúde e bem-estar das populações. A par do exercício ao ar livre, a utilização de ginásios e equipamentos de treino *indoor* registou um crescimento significativo na última década [1], impulsionado por estilos de vida urbanos e pela limitação de tempo disponível para a prática de atividade física.

Este contexto abriu espaço para a adoção de tecnologias digitais que apoiam a monitorização do desempenho, a personalização dos treinos e a motivação dos utilizadores. No entanto, apesar dos avanços registados, persistem limitações associadas à monotonia do treino em ambientes fechados e à dificuldade em recriar experiências imersivas comparáveis às atividades realizadas em contexto real.

Neste capítulo apresenta-se a motivação e o enquadramento do tema, os objetivos da dissertação, a metodologia seguida, as contribuições esperadas e a organização do trabalho.

### 1.1 Contexto e Motivação

A atividade física é amplamente reconhecida como essencial para a promoção da saúde e para a prevenção de doenças crónicas. A Organização Mundial da Saúde (OMS) recomenda, desde 2020, que adultos pratiquem pelo menos 150 minutos de atividade física de

intensidade moderada por semana [2]. Apesar destas orientações, uma parte significativa da população europeia permanece fisicamente inativa. De acordo com dados do Eurostat, cerca de 45% dos adultos na União Europeia reportaram não praticar qualquer atividade física em 2022 [3]. Em Portugal, os resultados do Inquérito Nacional de Saúde de 2022 confirmam que mais de 60% da população adulta não atinge as recomendações mínimas da OMS [4].

Esta realidade não se traduz apenas em efeitos individuais sobre a saúde, mas também em consequências económicas relevantes. Segundo a OMS, a inatividade física representa um custo anual superior a 27 mil milhões de euros para os sistemas de saúde europeus [5]. A Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Económico (OECD) reforça este impacto, sublinhando que a promoção da atividade física regular constitui um fator decisivo para reduzir a incidência de doenças cardiovasculares, diabetes tipo 2 e obesidade [6].

Nos grandes centros urbanos, a prática de exercício físico enfrenta desafios adicionais. A escassez de infraestruturas seguras, a sobrecarga das ciclovias existentes e os riscos associados ao tráfego automóvel contribuem para desmotivar a prática regular ao ar livre. Dados recentes da União Europeia mostram que os acidentes rodoviários envolvendo ciclistas permanecem elevados, reforçando a perceção de insegurança associada a este tipo de deslocação [7]. Para além disso, o tempo necessário para se deslocar até ginásios ou parques desportivos constitui uma barreira significativa para a manutenção de rotinas consistentes, sobretudo entre populações urbanas ativas profissionalmente. Perante estas limitações, observa-se uma tendência crescente para a adoção de alternativas que eliminam os riscos associados ao exterior e reduzem o tempo despendido em deslocações.

Neste contexto, o treino *indoor* tornou-se uma alternativa prática e cada vez mais popular, seja em ginásios ou em ambiente doméstico, pela conveniência e flexibilidade que proporciona. Contudo, a monotonia associada a este tipo de treino pode comprometer a motivação e levar ao abandono precoce. A evolução recente das tecnologias digitais tem permitido mitigar parte destes problemas, através de soluções que promovem monitorização, registo e até personalização da experiência de treino. O recurso a sensores biométricos, *wearables* e plataformas de saúde possibilita recolher dados do utilizador em

tempo real, adaptando a intensidade e a duração do treino ao seu perfil.

Em paralelo, a integração de conteúdos multimédia surge como uma oportunidade para aumentar a imersão. A possibilidade de “viajar sem sair de casa” e percorrer rotas reais, sincronizadas com parâmetros de esforço, amplia o potencial motivacional das sessões de treino *indoor*. Esta tendência é visível em plataformas comerciais como Rouvy [8] ou Peloton [9], que exploram o vídeo e a simulação de percursos reais, embora frequentemente com custos elevados e em ecossistemas fechados. Apesar destes avanços, persistem limitações relacionadas com a interoperabilidade e os custos de adoção. Muitas soluções atuais dependem de protocolos ou serviços proprietários, dificultando a integração de equipamentos de diferentes fabricantes. Neste contexto, destaca-se a importância de tecnologias abertas como o Bluetooth Low Energy (BLE) [10], em particular o Fitness Machine Service (FTMS) [11], que assegura um protocolo padronizado para comunicação entre aplicações móveis e equipamentos de fitness, permitindo maior compatibilidade e acessibilidade.

A motivação desta dissertação nasce, assim, da necessidade de explorar como arquiteturas digitais abertas e modulares podem contribuir para ultrapassar as limitações identificadas, oferecendo soluções mais personalizadas, imersivas e acessíveis, ajustadas às necessidades das populações urbanas e às exigências de um estilo de vida contemporâneo.

## 1.2 Problema de Investigação e Objetivos

Apesar da crescente utilização de tecnologias digitais no treino *indoor*, persistem limitações que condicionam a motivação e a adesão a longo prazo dos utilizadores. Muitos sistemas atuais baseiam-se em plataformas proprietárias com custos elevados, acessíveis apenas a uma parte restrita da população. De acordo com o Eurobarómetro de 2022, uma das razões mais apontadas pelos cidadãos europeus para não praticarem desporto é precisamente o custo associado a equipamentos e infraestruturas [12]. Esta barreira económica reforça a necessidade de soluções de baixo custo e com maior abertura tecnológica.

A prática de exercício físico ao ar livre enfrenta, por sua vez, obstáculos relacionados

com a segurança e com as condições urbanas. Dados da União Europeia indicam que os acidentes rodoviários envolvendo ciclistas permanecem elevados, especialmente em zonas densamente povoadas [7]. Em paralelo, muitas cidades ainda apresentam ciclovias descontínuas ou insuficientes, o que dificulta a adoção consistente de práticas desportivas em meio urbano [6]. Estas limitações, combinadas com constrangimentos de tempo associados às deslocações até locais de prática desportiva, aumentam a relevância do treino em ambientes fechados.

Face a este enquadramento, coloca-se a questão central desta dissertação: de que forma é possível conceber uma solução digital aberta, modular e de baixo custo que permita recriar experiências imersivas de treino *indoor*, integrando dados do utilizador, sensores biométricos e equipamentos compatíveis, de modo a aumentar a motivação e a adesão à prática desportiva?

O objetivo geral deste trabalho consiste em desenvolver uma aplicação que recrie experiências imersivas de treino *indoor*, combinando vídeos reais de percursos *outdoor* com a adaptação dinâmica das condições de esforço nos equipamentos de treino. Pretende-se oferecer uma plataforma aberta, de baixo custo e interoperável, capaz de aumentar a motivação do utilizador e a personalização do treino.

De forma mais específica, o trabalho visa:

- Recolher vídeos e dados contextuais de percursos reais (percurso, velocidade, declive, distância e tempo) a partir de ficheiros GPX, integrando-os em planos de treino digitais (*Workout Plans*);
- Sincronizar, durante o treino *indoor*, o vídeo e as métricas de esforço (resistência, velocidade, inclinação) com base nos dados previamente registados;
- Implementar mecanismos de sincronização dinâmica entre o *player* e o plano de treino, permitindo ajustar a taxa de reprodução e guardar as alterações como um novo *User Workout Plan (UWPlan)*;
- Integrar sensores biométricos e dispositivos *wearable* para recolha e análise de dados fisiológicos, possibilitando a adaptação automática da intensidade e do ritmo do treino ao perfil do utilizador;

- Assegurar a interoperabilidade com equipamentos compatíveis, recorrendo a protocolos abertos, nomeadamente o BLE e o FTMS.

### **1.3 Metodologia em Linhas Gerais**

A metodologia seguida nesta dissertação organiza-se em quatro fases complementares, que permitem uma progressão estruturada desde a análise do contexto até à validação da solução desenvolvida.

Na primeira fase será conduzida uma revisão do estado da arte, com o objetivo de identificar tendências relevantes, tecnologias emergentes e limitações observadas nas soluções existentes. Esta revisão fornecerá a base teórica e comparativa para o desenvolvimento do trabalho.

A segunda fase corresponde à definição de uma arquitetura conceptual que integre os requisitos funcionais e tecnológicos identificados. O desenho desta arquitetura terá em conta princípios de acesso aberto, modularidade e interoperabilidade, assegurando coerência entre os diferentes componentes do sistema.

Segue-se a fase de implementação prática, na qual será desenvolvido um protótipo de aplicação móvel que materialize os elementos principais da arquitetura proposta. O protótipo incluirá mecanismos de integração de dados biométricos e de comunicação com equipamentos compatíveis, permitindo criar um ambiente experimental representativo.

Por fim, a quarta fase incidirá na avaliação da solução, recorrendo a cenários de teste que permitam aferir a sua aplicabilidade. Esta etapa envolverá a análise de parâmetros como a facilidade de utilização, a capacidade de personalização e o impacto motivacional do sistema, constituindo a base para a discussão crítica e para a formulação de conclusões.

### **1.4 Contribuições e Estrutura da Dissertação**

As principais contribuições desta dissertação podem ser sintetizadas em três dimensões complementares. Do ponto de vista científico, o trabalho permitiu consolidar e divulgar

resultados através de publicações internacionais, reforçando a relevância do tema e a pertinência da abordagem proposta. Em termos tecnológicos, a dissertação apresenta uma arquitetura aberta e modular para treino *indoor*, materializada num protótipo de aplicação móvel que integra diferentes fontes de dados e assegura interoperabilidade entre equipamentos. Numa perspetiva prática e social, a solução contribui para promover a adesão à atividade física, oferecendo alternativas acessíveis e personalizadas que ajudam a ultrapassar barreiras comuns nos contextos urbanos, como a falta de tempo, as limitações de espaço e a perceção de insegurança associada ao treino ao ar livre.

A organização da dissertação reflete o percurso metodológico e tecnológico seguido. O **Capítulo 2** apresenta o estado da arte, analisando tecnologias imersivas, integração de sensores, personalização baseada em dados biométricos e arquiteturas abertas suportadas por modelos *edge-cloud*. O **Capítulo 3** descreve a metodologia seguida e a arquitetura proposta, detalhando os princípios técnicos, as tecnologias utilizadas e a base conceptual que suporta a solução. O **Capítulo 4** analisa e descreve as interfaces desenvolvidas na aplicação, abrangendo os subsistemas de criação e de utilização de conteúdos. O **Capítulo 5** documenta a integração de sensores e dispositivos externos, incluindo o *Google Health Connect*, a comunicação *Bluetooth Low Energy* e *FTMS*, a aplicação em *WearOS* e os cálculos técnicos associados à sincronização multimédia. Por fim, o **Capítulo 6** apresenta as conclusões, as direções de trabalho futuro e a produção científica associada.

# Capítulo 2

## Estado da Arte

Este capítulo apresenta o enquadramento conceptual e tecnológico da dissertação, incluindo a revisão da literatura (estado da arte) e a análise das tecnologias que suportam o trabalho desenvolvido. O objetivo é identificar e discutir as principais abordagens existentes no domínio do treino físico assistido por tecnologias digitais, evidenciando vantagens e limitações.

As secções seguintes estão organizadas em torno de quatro eixos principais: (i) tecnologias imersivas aplicadas ao fitness e ao desporto; (ii) integração de sensores e *wearables* para monitorização contínua; (iii) personalização com recurso a inteligência artificial; e (iv) arquiteturas abertas suportadas em *cloud* e *edge computing*. Cada secção inclui uma análise crítica dos contributos mais relevantes identificados na literatura.

### 2.1 Tecnologias imersivas aplicadas ao fitness e desporto

A utilização de tecnologias imersivas tem ganho relevância crescente em contextos de treino físico e desporto, acompanhando a maior disponibilidade de dispositivos de realidade virtual (VR) e realidade aumentada (AR) no mercado de consumo.

Hoang et al. [13] realizaram uma revisão sistemática que abrangeu 144 artigos publicados

entre 2002 e 2022, com foco em aplicações de VR, AR e realidade mista (MR) em populações saudáveis. O estudo excluiu investigações clínicas e trabalhos não revistos por pares, centrando-se exclusivamente em contextos de treino físico, fitness e desporto.

Os resultados revelam que a grande maioria das publicações analisadas recorreu a soluções de VR baseadas em *head-mounted displays* (HMDs), enquanto a utilização de AR e MR foi bastante inferior. As aplicações mais frequentes envolveram bicicletas estacionárias, ergómetros e passadeiras, frequentemente complementadas por sensores de movimento, como o Kinect, e sensores biométricos ligados a dispositivos vestíveis ou soluções de Internet of Things (IoT). Em termos de população-alvo, os adultos saudáveis representaram a maior parte das investigações, seguidos de atletas e idosos ativos.

O mapeamento dos objetivos demonstrou que muitos trabalhos procuraram sobretudo melhorar o desempenho dos praticantes, aumentar a motivação para o exercício e enriquecer a experiência de envolvimento durante a prática. Elementos de gamificação e dinâmicas sociais foram testados em diversos protótipos, embora ainda de forma limitada, e a maioria das avaliações ocorreu em ambientes laboratoriais com grupos pequenos de participantes, raramente ultrapassando estudos de curta duração.

Entre as limitações mais destacadas encontram-se a complexidade técnica das configurações, dificuldades de deteção precisa de movimentos e problemas de desconforto associados ao uso prolongado de HMDs, como o *motion sickness*. Apesar destes constrangimentos, o estudo identifica um potencial significativo para a integração destas tecnologias no treino físico, propondo como linhas de evolução futura a colaboração mais estreita entre academia e indústria, a criação de experiências que suportem de forma eficaz a relação treinador–treinado e o desenvolvimento de funcionalidades que reforcem a dimensão social e colaborativa do exercício [13]. Outro contributo relevante é o de da Silva et al. [14], que realizaram uma revisão sistemática focada no uso de realidade aumentada (AR) em diferentes modalidades desportivas. O estudo analisou 171 artigos publicados ao longo de 25 anos, tendo como objetivo identificar áreas de aplicação, ferramentas utilizadas e lacunas existentes. As áreas mais representadas foram treino e desempenho, transmissões desportivas, entretenimento e reabilitação, mas também se registaram iniciativas em

educação e negócios.

Os autores verificaram que a maioria das soluções explorava dispositivos móveis, devido à sua ampla difusão, e sensores como o Kinect ou *head-mounted displays* (HMDs), incluindo o Microsoft HoloLens. Foram também identificados diversos algoritmos e frameworks de suporte, como Unity 3D ou FLARToolKit, utilizados para reconstrução 3D e interação em tempo real. Em termos metodológicos, a maioria dos trabalhos enquadrou-se como propostas de solução técnica, com menor peso para estudos de avaliação ou validação.

A análise histórica mostrou um crescimento claro das publicações após 2010, acompanhando a disseminação de dispositivos móveis e sensores acessíveis. Apesar dessa evolução, os autores destacam algumas limitações: a falta de soluções acessíveis ao público em geral, a qualidade reduzida de muitas animações 3D e a pouca atenção dada à experiência do utilizador. Em síntese, a revisão conclui que a AR oferece grande potencial para reforçar desempenho, motivação e envolvimento no desporto, mas permanece numa fase exploratória que exige investigação mais aprofundada. Mais recentemente, Bhatia et al. [15] analisaram o papel da realidade virtual (VR) e da realidade aumentada (AR) no desporto, destacando as suas aplicações em treino, reabilitação, *e-sports*, sistemas de repetição virtual, educação física e envolvimento dos espetadores. No treino e simulação, a VR permite recriar cenários realistas em diferentes modalidades, potenciando a imersão e o feedback dos atletas. Em reabilitação, estudos apontaram melhorias em equilíbrio, mobilidade e recuperação de lesões através de ambientes virtuais controlados. A VR aplicada a *e-sports* introduz uma dimensão física acrescida, exigindo movimento real dos jogadores.

A AR tem tido impacto significativo nas transmissões desportivas, permitindo sobrepor elementos gráficos e publicidade em tempo real, bem como em contextos educativos, onde apoia o ensino de técnicas motoras complexas com representações tridimensionais. Adicionalmente, estudos apontam para o seu potencial em aumentar a ligação dos espetadores com os atletas através da personalização da informação apresentada.

Os autores identificaram, no entanto, limitações técnicas, como restrições de hardware, falhas em sistemas de visualização e custos ainda elevados. A superação destes

desafios poderá passar pela utilização de redes 5G, pelo desenvolvimento de novos sensores e pela redução do peso dos equipamentos. A investigação conclui que a integração gradual de VR e AR no desporto tem o potencial de transformar tanto a preparação dos atletas como a experiência dos espetadores [15]. Em síntese, a literatura evidencia que as tecnologias imersivas, em particular a realidade virtual (VR) e a realidade aumentada (AR), têm vindo a assumir um papel relevante no desporto e no fitness. Os estudos mais abrangentes mostram que a VR tem sido predominante, aplicada sobretudo em cenários laboratoriais de treino e motivação [13], enquanto a AR tem vindo a ser explorada em múltiplos contextos, desde o treino e desempenho até à transmissão e reabilitação, embora ainda com forte carácter experimental [14]. Investigações mais recentes reforçam a diversidade de aplicações, estendendo o uso destas tecnologias à educação física, aos *e-sports* e à interação com os espetadores, mas sublinham também barreiras técnicas e económicas que condicionam a sua adoção massiva [15].

Apesar do avanço registado, verifica-se que muitos trabalhos permanecem em fase de protótipo, com amostras reduzidas e limitações técnicas persistentes, como problemas de conforto e custos de hardware. Estas lacunas reforçam a necessidade de soluções abertas, interoperáveis e escaláveis, capazes de proporcionar experiências imersivas consistentes em contextos de treino indoor. É neste espaço que se enquadra a presente dissertação, procurando explorar a integração destas tecnologias com abordagens acessíveis e orientadas ao utilizador final.

## 2.2 Integração de sensores e *wearables*

Os dispositivos *wearables* assumem um papel central no ecossistema do fitness digital, permitindo a monitorização contínua de parâmetros fisiológicos como a frequência cardíaca, a cadência de passos ou o consumo calórico. Associados a protocolos de comunicação de baixo consumo energético, como o *Bluetooth Low Energy* (BLE), e a normas específicas para equipamentos de treino, como o *Fitness Machine Service* (FTMS), estes dispositivos

oferecem dados em tempo real que podem ser integrados em aplicações móveis. Mais recentemente, soluções como o *Google Health Connect* têm procurado normalizar a recolha e partilha destes dados, aumentando a interoperabilidade entre plataformas que até então operavam de forma isolada.

Farrokhi et al. [16] apresentam uma revisão sobre a aplicação da Internet of Things (IoT) e da inteligência artificial (IA) no contexto do fitness inteligente. O estudo organiza o ecossistema em três categorias principais: rastreadores de atividade (vestíveis e não vestíveis), análise de movimento e aplicações móveis. Os autores mostram como os sensores recolhem continuamente dados fisiológicos que, quando processados por algoritmos de IA, podem ser utilizados para recomendações personalizadas e para apoiar a motivação do utilizador.

Entre os benefícios identificados estão o treino adaptativo, a deteção precoce de fadiga e a melhoria da experiência do praticante. Contudo, permanecem desafios importantes, como a fragmentação tecnológica entre fabricantes, a precisão variável das medições e os riscos de privacidade e segurança associados à recolha massiva de dados. O artigo conclui que o futuro do *smart fitness* passará pela padronização dos protocolos de comunicação, pela transparência dos algoritmos de IA e pela integração de dados entre plataformas, aspetos que se alinham com os objetivos desta dissertação. Chauhan et al. [17] apresentam uma revisão narrativa centrada em aplicações móveis de saúde (mHealth) e dispositivos *wearables* destinados ao acompanhamento cardiovascular. O estudo avaliou vinte aplicações e vinte e dois dispositivos disponíveis na região DACH (Alemanha, Áustria e Suíça), com o objetivo de analisar o seu valor clínico e a forma como estes se integram nos sistemas de saúde. Os resultados mostraram que, embora a oferta seja variada, apenas uma parte reduzida das soluções apresentava funcionalidades clinicamente relevantes. Entre as aplicações, poucas incluíam informação baseada em evidência científica ou ofereciam integração com serviços clínicos. No caso dos *wearables*, cerca de metade tinha certificação médica e a maioria incluía políticas de privacidade conformes com o Regulamento Geral de Proteção de Dados (GDPR). Apesar disso, apenas uma minoria demonstrava potencial para melhorar de forma efetiva os fluxos de trabalho de profissionais de saúde.

Esta revisão destacou ainda lacunas significativas, como a ausência de adaptação a necessidades específicas (por exemplo, sintomas diferenciados por género), a fraca integração com clínicos e a insuficiência de validação científica em muitas soluções disponíveis. Em contrapartida, os *wearables* mostraram-se mais consistentes do que as aplicações móveis, sobretudo pela maior taxa de certificação médica e pela referência a estudos científicos. Em síntese, a literatura evidencia que os sensores e dispositivos *wearables* são componentes centrais no ecossistema do fitness e da saúde digital. Estudos como o de Farrokhi et al. [16] demonstram o potencial da integração entre IoT e inteligência artificial para personalizar recomendações de treino, mas apontam limitações na interoperabilidade e na proteção de dados. Trabalhos mais recentes, como o de Chauhan et al. [17], reforçam a relevância destas tecnologias em contextos clínicos, sublinhando a necessidade de validação científica robusta, de maior integração com profissionais de saúde e de soluções que respondam a necessidades específicas dos utilizadores.

Apesar dos avanços, verifica-se que muitos sistemas permanecem fragmentados e que a fiabilidade das medições continua a variar entre fabricantes e dispositivos. Questões como a certificação médica, a conformidade com regulamentos de privacidade (ex. GDPR) e a adaptação a diferentes perfis de utilizadores permanecem como barreiras significativas. Estas lacunas justificam a necessidade de soluções abertas, padronizadas e centradas no utilizador, como as que se propõem nesta dissertação, capazes de garantir tanto a qualidade dos dados recolhidos como a sua integração em diferentes ecossistemas digitais.

## **2.3 Personalização através de Inteligência Artificial e Dados Biométricos**

A personalização do treino físico através da análise de dados biométricos tem sido uma das áreas mais dinâmicas da investigação em saúde digital. A recolha contínua de métricas como frequência cardíaca, variabilidade do ritmo cardíaco, gasto calórico, passos ou

padrões de sono fornece uma base rica de informação que pode ser explorada por algoritmos de inteligência artificial (IA) e *machine learning*. Estas abordagens permitem gerar recomendações adaptadas ao perfil do utilizador, ajustar planos de treino em tempo real e identificar sinais precoces de fadiga ou risco de lesão.

A literatura recente evidencia diferentes linhas de investigação, desde a utilização de modelos preditivos em grandes bases de dados até ao uso de redes neuronais profundas em cenários de treino personalizado. Nesta secção serão analisados contributos relevantes que ilustram o potencial da IA no fitness, bem como as suas limitações atuais em termos de generalização, transparência e integração prática em aplicações móveis. Entre os contributos mais recentes identificados na literatura encontra-se a revisão sistemática de Puce et al. [18], que apresenta uma visão geral sobre a aplicação da inteligência artificial generativa na prescrição de exercício físico. O estudo identificou dez trabalhos publicados entre 2019 e 2024, nos quais foram avaliados modelos como o ChatGPT-3.5, o ChatGPT-4 e o Google Gemini em diferentes contextos, incluindo treino de força, reabilitação, exercício cardiovascular e programas de fitness geral.

Os resultados sugerem que estes modelos são capazes de gerar planos de treino alinhados com as diretrizes internacionais, garantindo recomendações seguras e aplicáveis a perfis diversificados de utilizadores. No entanto, persistem limitações relevantes, como a ausência de progressão estruturada, a falta de adaptação a dados fisiológicos em tempo real e a dificuldade em responder a necessidades de atletas de alto rendimento. Destacou-se o desempenho superior do ChatGPT-4, em comparação com versões anteriores, na elaboração de planos de treino de resistência, embora ainda com falhas de personalização contextual.

A revisão conclui que a inteligência artificial generativa pode funcionar como complemento ao acompanhamento profissional, contribuindo para a democratização do acesso a recomendações de treino e para a escalabilidade de programas de saúde. Contudo, os autores salientam a necessidade de maior transparência metodológica, de integração com métricas biométricas e de sistemas adaptativos em tempo real para garantir recomendações verdadeiramente personalizadas. Toyonaga e Oyibo [19] exploram o uso de sistemas

de recomendação para reduzir o comportamento sedentário e promover atividade física regular. Os autores destacam que muitas soluções existentes recorrem a princípios de design pouco estruturados ou a abordagens generalistas, o que limita a sua eficácia em diferentes perfis de utilizadores. Para ultrapassar essas limitações, propõem a integração de algoritmos de aprendizagem automática, modelos de linguagem de última geração e enquadramentos psicológicos baseados em teoria, com o objetivo de gerar recomendações de treino explicáveis, contextuais e adaptáveis em tempo real.

A proposta sublinha a importância de combinar técnicas computacionais com fundamentos da psicologia, permitindo não só recomendações mais eficazes mas também justificáveis, aumentando a adesão e a motivação dos utilizadores. Este trabalho contribui assim para reforçar a relevância da personalização inteligente em programas de atividade física, destacando que o sucesso depende tanto da qualidade dos algoritmos como da sua capacidade de adaptação ao contexto social e comportamental. Em síntese, a literatura recente mostra que a personalização baseada em inteligência artificial tem avançado em duas frentes complementares: por um lado, modelos generativos capazes de criar programas de treino alinhados com diretrizes gerais mas ainda limitados na adaptação individual [18]; por outro, sistemas de recomendação que integram aprendizagem automática, grandes modelos de linguagem e fundamentos psicológicos para produzir recomendações mais contextuais e explicáveis [19].

Apesar destes progressos, os estudos revelam limitações persistentes, como a falta de integração com dados biométricos em tempo real, a escassez de validação em contextos de alto rendimento e a necessidade de maior transparência nos algoritmos. Estas lacunas reforçam a pertinência da presente dissertação, que procura desenvolver abordagens de personalização acessíveis, baseadas em dados reais e suportadas por mecanismos de explicabilidade e adaptação contínua.

## 2.4 Arquiteturas abertas suportadas em *cloud* e *edge computing*

A evolução das arquiteturas digitais tem desempenhado um papel central na viabilização de aplicações de fitness inteligente e saúde conectada. A recolha contínua de dados biométricos através de dispositivos *wearables* exige soluções capazes de garantir processamento eficiente, armazenamento seguro e integração entre diferentes plataformas. Neste contexto, a computação em *cloud* tem sido amplamente utilizada para disponibilizar escalabilidade, capacidade de análise avançada e acesso remoto a serviços de inteligência artificial.

Em paralelo, a *edge computing* ganhou destaque pela sua capacidade de reduzir a latência e permitir o processamento próximo do utilizador, seja em dispositivos móveis, em sensores ou em gateways locais. Esta abordagem tem particular relevância para cenários que requerem feedback em tempo real, como a monitorização de treino ou a deteção precoce de fadiga. As arquiteturas híbridas que combinam *cloud* e *edge* oferecem um equilíbrio entre escalabilidade e responsividade, apresentando-se como um modelo cada vez mais adotado em soluções de saúde digital.

Nas secções seguintes são analisados trabalhos que exploram estas abordagens, evidenciando as vantagens e limitações das arquiteturas abertas para integração de serviços de fitness e treino personalizado. Cao [20] discute a aplicação de tecnologias IoT em equipamentos de fitness inteligentes e em sistemas de gestão de saúde. O estudo centra-se na conceção de algoritmos para melhorar a precisão dos sensores, nomeadamente através da filtragem de ruído, e na utilização de plataformas em *cloud* para armazenamento e análise dos dados recolhidos. Além da vertente técnica, o artigo considera também o impacto social, sublinhando que a integração com aplicações móveis e redes sociais poderá aumentar a adesão a programas de fitness. A proposta destaca o papel da *cloud* como elemento central para a consolidação dos dados e para a disponibilização de serviços de monitorização em larga escala. Embora a abordagem não explore em profundidade arquiteturas

híbridas com *edge computing*, representa um contributo relevante para compreender as primeiras tentativas de integrar sensores, algoritmos e plataformas de saúde digital num ecossistema comum. Pereira e Matos [21] apresentam uma arquitetura orientada à recriação de cenários imersivos em ginásios, baseada na captura de vídeos de percursos reais enriquecidos com dados contextuais e na sincronização com equipamentos de treino através de protocolos abertos. A solução promove a separação de responsabilidades entre a criação e o consumo de conteúdos, suporta a partilha de planos de treino e tira partido do processamento próximo do utilizador para reduzir a latência na interação com os dispositivos, delegando na *cloud* funções de armazenamento, catalogação e distribuição. Num trabalho complementar, Pereira e Matos [22] descrevem a aplicação de utilizador que operacionaliza essa arquitetura, integrando comunicação *Bluetooth Low Energy* (BLE) e *Fitness Machine Service* (FTMS) com dados biométricos recolhidos de *wearables*. A aplicação coordena o ajuste dinâmico de parâmetros do equipamento (como resistência e inclinação) com base no vídeo e no perfil do utilizador, utilizando ainda serviços em *cloud* para autenticação e sincronização de histórico. Esta abordagem demonstra a viabilidade de uma solução aberta e escalável, capaz de combinar resposta em tempo real com funcionalidades de gestão e partilha em larga escala. Em síntese, os trabalhos analisados mostram a evolução das arquiteturas digitais aplicadas ao fitness. Cao [20] ilustra as primeiras abordagens baseadas em IoT e *cloud*, com foco em filtragem de ruído e gestão de dados em larga escala. Avanços posteriores exploraram modelos híbridos *cloud-edge*, como demonstrado pelas propostas de Pereira e Matos [21], [22], que integram protocolos abertos como BLE e FTMS com mecanismos de processamento local em tempo real, associados a serviços em *cloud* para autenticação, partilha e gestão de conteúdos. Estes contributos reforçam a pertinência de explorar arquiteturas abertas e híbridas no domínio do fitness digital. A presente dissertação alinha-se com essa tendência, propondo uma solução que integra dispositivos de treino e *wearables* através de protocolos normalizados, apoiada numa arquitetura *cloud-edge* que privilegia simultaneamente baixa latência e escalabilidade. O objetivo é oferecer uma plataforma robusta e acessível, capaz de suportar cenários imersivos de treino *indoor*.

### 2.4.1 Estratégias de Cache em Arquiteturas *Edge-Cloud*

A eficiência das arquiteturas híbridas baseadas em *cloud* e *edge computing* depende fortemente dos mecanismos de cache implementados para reduzir a latência e o tráfego de rede. Em aplicações móveis e sistemas sensoriais, o acesso recorrente a conteúdos semelhantes origina pedidos redundantes que aumentam o consumo energético e a utilização de rede. A adoção de políticas de substituição em cache, como o *Least Recently Used* (LRU), constitui uma abordagem simples e eficaz para mitigar esse problema, assegurando tempos de resposta previsíveis e um uso equilibrado dos recursos locais e remotos.

O algoritmo LRU baseia-se no princípio de remover do cache o elemento menos recentemente utilizado quando a capacidade é atingida. A sua simplicidade, baixo custo computacional e previsibilidade tornam-no particularmente adequado a dispositivos móveis e unidades *edge* com recursos limitados, permitindo operação parcial em modo offline e reduzindo a dependência de sincronização contínua com a *cloud*.

Liu et al. [23] desenvolveram o *CacheSim*, uma estrutura de simulação aberta destinada à avaliação de algoritmos de cache em dispositivos *edge* com restrições severas de energia e armazenamento. O estudo comparou diversas políticas, incluindo FIFO, LFU e LRU, concluindo que o LRU mantém uma relação consistente entre taxa de acertos, consumo energético e simplicidade de implementação, sendo uma solução estável para sistemas locais de baixo custo. Estes resultados reforçam o papel do LRU como política de referência em contextos *edge-cloud* e justificam a sua adoção em cenários móveis com elevada previsibilidade de acesso.

Numa perspetiva complementar, Pereira et al. [24] exploraram a aplicação prática do LRU num sistema distribuído baseado em *cloud-edge*, concebido para gestão de inventário alimentar. A política demonstrou reduzir significativamente o tráfego de rede e o tempo médio de resposta, assegurando operação offline e custos previsíveis de sincronização. Este caso confirma a viabilidade do LRU em arquiteturas híbridas de pequena escala e a sua relevância para aplicações móveis que dependem de dados persistentes e coerentes.

A adoção destas estratégias no domínio do treino físico digital oferece vantagens diretas à arquitetura proposta nesta dissertação. A manutenção em cache dos últimos planos de treino ou percursos (*Workout Plans*) garante acesso rápido aos conteúdos mais utilizados, mesmo na ausência de conectividade, assegurando continuidade da experiência de treino e eficiência energética. Em síntese, tanto a estrutura *CacheSim* [23] como a implementação de Pereira et al. [24] demonstram que o LRU permanece uma solução robusta e energeticamente eficiente em contextos *edge-cloud*, sustentando a sua integração no projeto *GymTrail*.

# Capítulo 3

## Metodologia e Arquitetura Proposta

A presente dissertação adota uma abordagem metodológica que combina revisão bibliográfica, desenvolvimento experimental e validação em cenários reais. O objetivo é conceber e avaliar uma arquitetura aberta e adaptável, capaz de integrar tecnologias digitais no contexto de treinos *indoor*, assegurando personalização e imersão da experiência do utilizador.

Este capítulo descreve a metodologia seguida, a arquitetura proposta, as tecnologias utilizadas, bem como os aspetos relacionados com a interface e o fluxo de dados do sistema.

### 3.1 Metodologia

A investigação foi organizada em quatro etapas principais, alinhadas com o plano de trabalhos definido na proposta inicial:

#### 1. Revisão da literatura

Foi realizada uma análise sistemática de trabalhos relacionados com tecnologias imersivas aplicadas ao desporto, protocolos de comunicação para equipamentos de treino (ex.: FTMS), integração de *wearables* e soluções baseadas em *edge computing*. Esta revisão fundamentou a escolha das tecnologias e orientou a conceção da

arquitetura.

## 2. Conceção e desenvolvimento da arquitetura

A partir das necessidades identificadas, definiu-se uma arquitetura modular, dividida em subsistemas para criação de conteúdos (WPlan) e execução personalizada (UW-Plan). Esta fase incluiu a prototipagem de serviços em *Firebase* e a implementação de uma aplicação móvel concebida como protótipo exploratório em *React Native*, garantindo compatibilidade com diferentes equipamentos de fitness e *wearables*.

## 3. Análise e interpretação de resultados

Foram conduzidos testes exploratórios com equipamentos de treino e *wearables* disponíveis, avaliando a viabilidade da comunicação via *Bluetooth FTMS* e a integração de dados biométricos com a *Google Health Connect API*. A análise centrou-se na validação do conceito, medindo consistência dos dados, capacidade de personalização e experiência de utilização.

## 4. Escrita e validação da dissertação

A redação foi realizada em paralelo com o desenvolvimento, garantindo consistência entre a fundamentação teórica e os resultados práticos. A validação incluiu revisão pelo orientador e cruzamento com os artigos científicos publicados durante o percurso [21], [22].

Esta metodologia permitiu assegurar que o trabalho não se limitasse à definição conceptual, mas avançasse para uma solução concreta e validada em contexto real.

## 3.2 Arquitetura Proposta

A arquitetura da plataforma *GymTrail* organiza-se em três níveis funcionais: a camada de *edge computing*, composta pelos subsistemas de criação e utilização de conteúdos; a camada de integração de sensores, que agrega dados fisiológicos e contextuais; e a camada

cloud, responsável pela persistência e sincronização de dados através dos serviços *Firestore*. A Figura 3.1 ilustra esta estrutura e a relação entre os seus componentes.

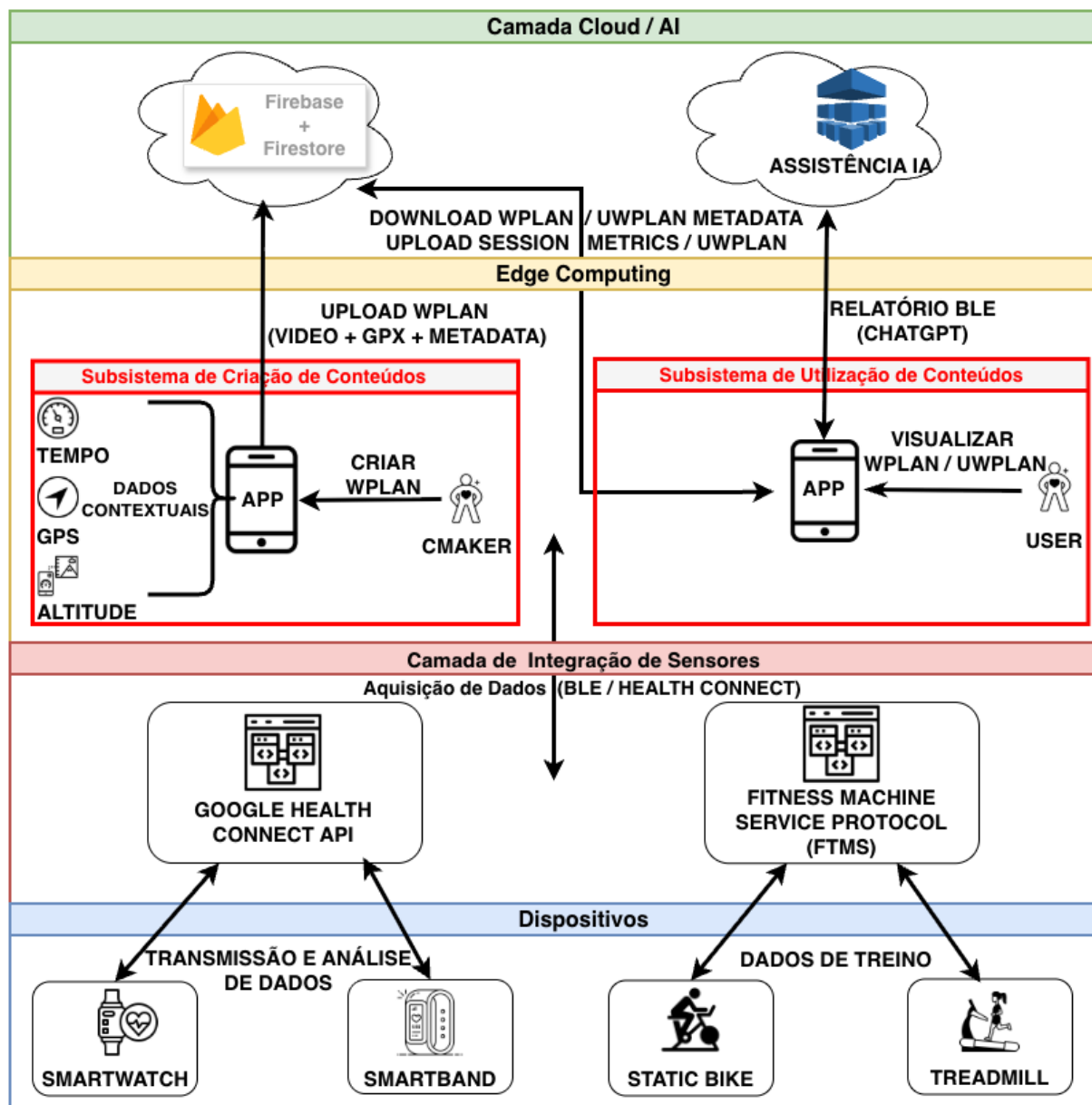


Figura 3.1: Arquitetura funcional da *GymTrail*, com os subsistemas de *Criação de Conteúdos* (CMAKER) e de *Utilização de Conteúdos* (Activity User), a camada de integração de sensores (*Health Connect* e *FTMS BLE*) e os serviços *Firestore* responsáveis pela persistência e sincronização.

O modelo baseia-se em dois subsistemas complementares:

- **Subsistema de Criação de Conteúdos (CMAKER)** — Representa o utilizador que grava um vídeo de um percurso real, recolhendo em simultâneo dados contextuais através de sensores do dispositivo móvel. Os dados são guardados num ficheiro **GPX** (*GPS Exchange Format*), que contém as coordenadas geográficas, o tempo de amostragem, a altitude e, por derivação, a velocidade e o declive. A aplicação associa o ficheiro de vídeo (.mp4) ao GPX, gerando um **Workout Plan (WPLAN)**, ou plano de treino digital, que é carregado (*upload*) para a *Firebase*. Cada WPLAN pode ser público ou privado, permitindo a sua reutilização por outros utilizadores.
- **Subsistema de Utilização de Conteúdos (Activity User)** — Corresponde ao utilizador que executa o treino. A aplicação descarrega (*download*) um WPLAN da *Firebase* e reproduz o respetivo vídeo através do *player*. Durante a sessão, a app comunica com sensores e dispositivos externos: via *Health Connect* para métricas biométricas (frequência cardíaca, passos, calorias) e via protocolo *FTMS BLE* para métricas de equipamento (velocidade, resistência, inclinação). As medições obtidas são associadas ao plano original, gerando um novo ficheiro **User Workout Plan (UWPLAN)** que reflete o desempenho e as personalizações do utilizador.

A ligação bidirecional entre a aplicação do *Activity User* e a *Firebase* representa o envio e receção de planos de treino. O utilizador pode descarregar tanto **WPLANs** como **UWPLANs** existentes e, após o treino, voltar a sincronizar as suas próprias versões personalizadas. No caso do CMAKER, a seta é apenas de envio (*upload*), indicando que este subsistema atua exclusivamente na criação e partilha de novos planos. As camadas inferiores mostram a comunicação com os sensores através das APIs *Health Connect* e *FTMS*, garantindo interoperabilidade com diferentes equipamentos, como *smartwatches*, bandas de fitness ou bicicletas estáticas.

A sequência completa de operações está representada na Figura 3.2, que descreve o fluxo de criação, execução e sincronização dos planos de treino.

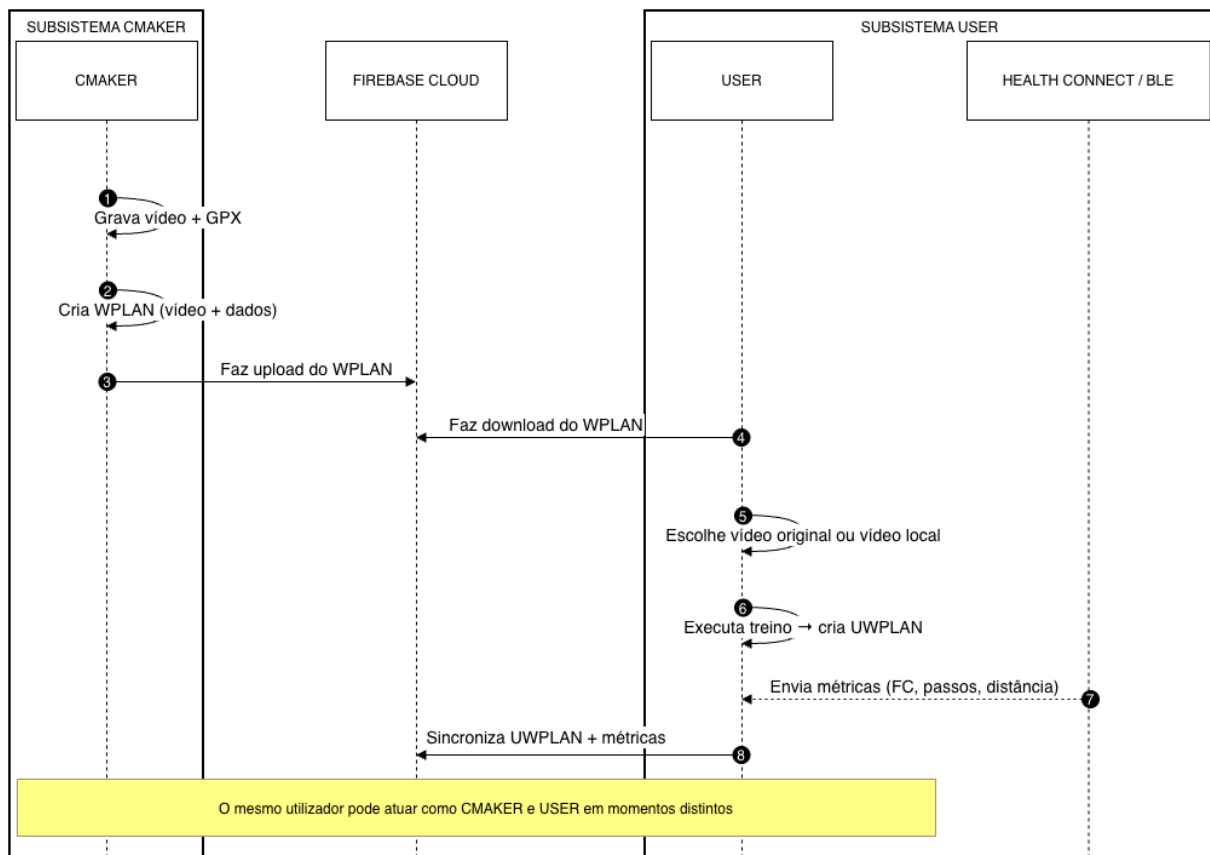


Figura 3.2: Fluxo de criação e utilização dos planos de treino na plataforma *GymTrail*, evidenciando a comunicação entre CMAKER, *Firebase* e *Activity User*.

O processo pode ser descrito pelas seguintes etapas:

1. O **CMAKER** grava o vídeo e o percurso, gerando um conjunto de pontos GPX com coordenadas, tempo e altitude;
2. A aplicação associa o GPX ao vídeo e cria o ficheiro **WPLAN**;
3. O WPLAN é carregado para a **Firebase** (upload), ficando disponível segundo as permissões definidas;
4. O **Activity User** descarrega o WPLAN pretendido (download);
5. O utilizador escolhe reproduzir o vídeo original ou um vídeo local, mantendo as métricas do percurso;
6. Durante o treino, são recolhidas métricas em tempo real (FC, passos, distância, velocidade) via *Health Connect* ou *FTMS BLE*;

7. No final, é criado um **UWPLAN**, que contém as personalizações e resultados do treino;
8. O UWPLAN é sincronizado novamente com a **Firestore** (upload), permitindo reutilização, partilha ou análise posterior.

Este fluxo evidencia a natureza colaborativa da plataforma: o mesmo utilizador pode atuar, em momentos distintos, como **CMAKER** — criador de percursos — e como **Activity User** — executante de treinos personalizados. A existência dos dois tipos de plano (WPLAN e UWPLAN) garante a rastreabilidade entre o conteúdo original e as sessões personalizadas, assegurando coerência, integridade e reprodutibilidade dos dados recolhidos.

### 3.3 Tecnologias Utilizadas

A implementação da arquitetura proposta assenta num conjunto de tecnologias que asseguram compatibilidade, escalabilidade e uma experiência de utilização consistente. Estas tecnologias foram selecionadas com base nos requisitos definidos na proposta inicial, nos trabalhos publicados [21], [22], e no desenvolvimento realizado ao longo do projeto.

- **React Native** [25]: framework de desenvolvimento multiplataforma baseada em *JavaScript* e *React*, que permite criar aplicações nativas para diferentes sistemas operativos móveis, nomeadamente Android e iOS, a partir de uma única base de código. A framework assegura elevada reutilização de componentes e integração direta com APIs nativas quando necessário.
- **Google Firebase** [26]: conjunto de serviços em *cloud* que assegura autenticação segura, armazenamento de dados (Firestore) e gestão de conteúdos multimédia (Firebase Storage). O sistema aplica regras dinâmicas de acesso, garantindo a proteção de dados e a gestão de privilégios administrativos.
- **Google Health Connect API** [27]: plataforma oficial do Android para acesso seguro e padronizado a dados de saúde do utilizador. Foi integrada na aplicação

através de um módulo nativo em *Kotlin* que expõe, à camada *React Native*, funções de leitura de métricas como passos, calorias, peso, distância, sono e gordura corporal. A leitura da frequência cardíaca encontra-se dependente da sincronização prévia das aplicações de origem (ex.: *Mi Fitness* ou *Google Fit*), podendo em alguns casos não apresentar valores disponíveis no dia corrente (ver Secção 5.1).

- **Reprodutor de Vídeo** [25]: implementado com as bibliotecas `react-native-video` e `react-native-youtube-iframe`, permite a visualização de conteúdos locais e remotos no módulo *Workout Player*, incluindo a opção de substituição do vídeo principal por outro vídeo local.
- **Geolocalização**: O módulo de recolha de coordenadas foi implementado com as bibliotecas `react-native-geolocation-service` e `react-native-fs`, garantindo acesso seguro e eficiente aos sensores de localização do dispositivo. A aplicação recolhe pontos sucessivos com latitude, longitude, altitude e carimbo temporal, armazenados temporariamente na memória e posteriormente processados no formato de intercâmbio GPX. Esta estratégia assegura compatibilidade com a maioria das aplicações de navegação e treino desportivo, permitindo a reconstrução e análise posterior dos percursos [28], [29].
- **Formato GPX (*GPS Exchange Format*)**: O GPX é um formato XML padronizado para representação de percursos e trilhos georreferenciados, definido pela Topografix em 2004 como especificação 1.1 [30]. Na arquitetura proposta, o GPX é utilizado para normalizar a representação dos percursos *outdoor*, contendo pontos (`<trkpt>`) com atributos de latitude, longitude, elevação, carimbo temporal e extensões opcionais para velocidade e distância acumulada. Esta estrutura fornece a base temporal para sincronização entre vídeo e métricas durante o treino *indoor*. A geração do ficheiro GPX é feita programaticamente pela função `saveLocalWPlan()`, que percorre os pontos registados e constrói um documento conforme a especificação 1.1. O excerto seguinte ilustra a estrutura central do ficheiro criado pela aplicação, conforme apresentado na Listagem 3.1.

Listing 3.1: Excerto de um ponto GPX (formato `trkpt`)

```
1
2 <trkpt lat="41.807400" lon="-6.757900">
3   <ele>692.5</ele>
4   <time>2025-03-10T10:12:35Z</time>
5   <extensions>
6     <speed>3.25</speed>
7     <distance>15.3</distance>
8   </extensions>
9 </trkpt>
```

A criação do ficheiro GPX foi implementada de forma programática, em vez de recorrer a bibliotecas externas específicas, por duas razões principais:

- (i) garantir total controlo sobre a estrutura e os campos adicionais incluídos nas extensões;
- (ii) evitar dependências nativas adicionais que poderiam comprometer a portabilidade entre plataformas.

Esta opção assegura flexibilidade para integrar novas métricas e mantém compatibilidade total com o padrão GPX 1.1 definido pela Topografix.

- **Mapa e visualização geográfica:** a exibição dos percursos em formato cartográfico foi implementada com a biblioteca `react-native-webview`, que executa o motor *Leaflet.js* com mosaicos *OpenStreetMap*. Esta abordagem substitui o módulo nativo `react-native-maps`, eliminando dependências do *Google Maps SDK* e garantindo compatibilidade total entre plataformas. A comunicação entre o mapa e a camada nativa é feita através da API `postMessage`, permitindo que o utilizador selecione percursos e inicie o treino diretamente a partir do mapa [31], [32].
- **Câmara e multimédia:** a biblioteca `react-native-vision-camera` é utilizada para gravação de vídeo em ambiente real, enquanto `react-native-image-picker` permite a seleção e envio de imagens de perfil para o *Firebase Storage* [33], [34].

- **Interface e visualização:** a aplicação recorre a bibliotecas como `react-native-linear-gradient`, `react-native-vector-icons` e `react-native-chart-kit` para a construção de uma interface moderna e responsiva, adaptada a ecrãs de diferentes dimensões [35], [36], [37].
- **Internacionalização (i18n)** [38]: sistema de tradução centralizado em ficheiros dedicados (`pt.ts` e `en.ts`), assegurando suporte a múltiplos idiomas e adaptabilidade cultural.
- **Área de transferência e permissões** [25]: o módulo BLE inclui bibliotecas complementares, como `@react-native-clipboard/clipboard` para cópia de relatórios, `react-native-permissions` para gestão de permissões em tempo de execução e `react-native-device-info` para recolha de dados técnicos do dispositivo durante os testes [39], [40], [41].
- **Bluetooth Low Energy (BLE):** a comunicação com dispositivos externos é suportada através da biblioteca `react-native-ble-plx`, que fornece a interface entre a aplicação e o *Bluetooth stack* do sistema operativo. Este SDK permite detetar, emparelhar e trocar dados com sensores compatíveis, sendo também a base para a análise de interoperabilidade com o *Fitness Machine Service (FTMS)* descrita no Capítulo 5.2 [10], [42].

Em conjunto, estas tecnologias suportam a visão de uma aplicação modular e extensível, que serve como base para a exploração e validação das integrações tecnológicas apresentadas nesta dissertação.

### 3.4 Interface e Experiência do Utilizador

A interface da aplicação foi concebida com base em protótipos desenvolvidos em Figma, que serviram de guia visual e funcional para o desenvolvimento do protótipo experimental. O uso desta ferramenta permitiu estruturar previamente a navegação, testar hierarquias de informação e validar a coerência entre os diferentes ecrãs antes da implementação

prática. A opção por um design simples e modular visou garantir clareza, legibilidade e facilidade de adaptação a diferentes dimensões de ecrã, uma vez que a aplicação foi pensada para utilização em dispositivos móveis e *tablets*.

Durante a fase de conceção, foram definidos princípios de usabilidade alinhados com as boas práticas de design centrado no utilizador: consistência visual, economia cognitiva, feedback imediato e agrupamento lógico de ações. Foram ainda aplicados critérios de acessibilidade, assegurando contraste adequado entre elementos, tamanhos mínimos de toque e hierarquias visuais que facilitam a navegação intuitiva. Estes aspetos tiveram como objetivo explorar soluções que maximizassem a experiência de utilização, sem que o desenvolvimento da interface fosse um fim em si mesmo, mas sim um meio para testar a integração entre sensores, dados biométricos e funcionalidades de treino.

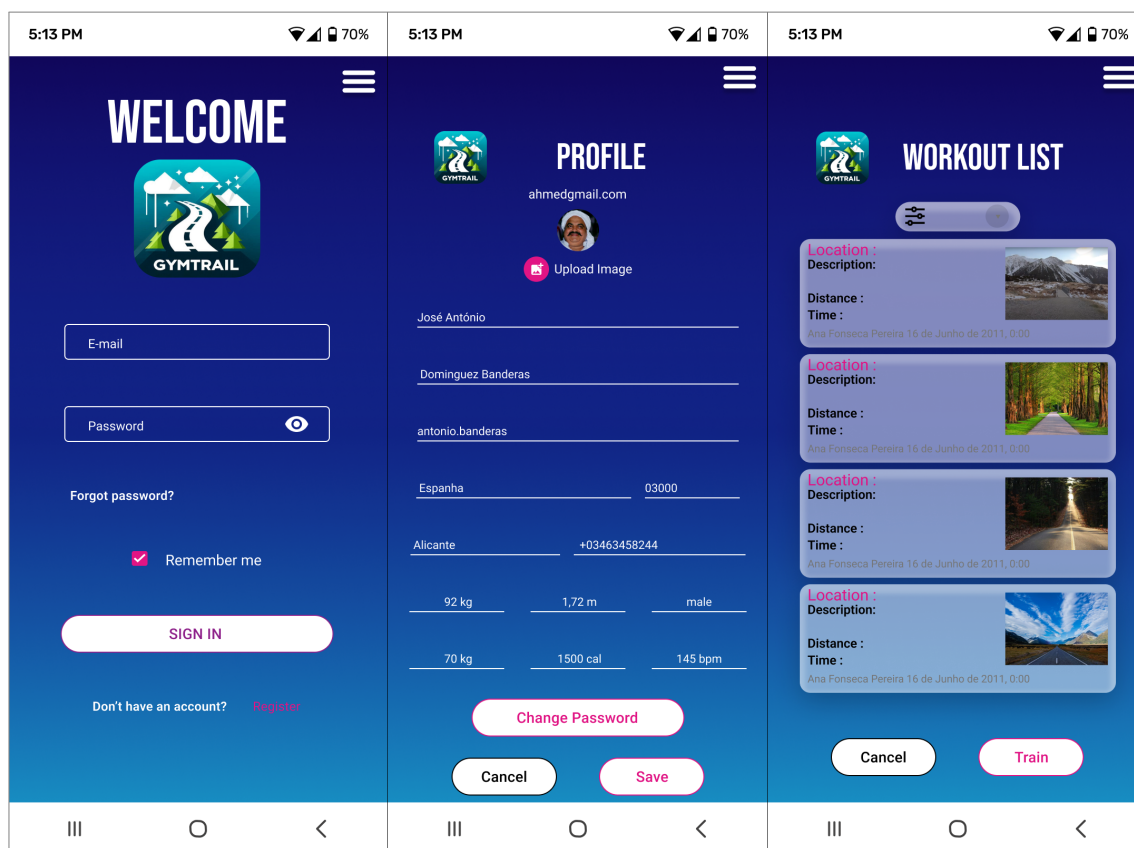


Figura 3.3: Protótipos representativos desenvolvidos em Figma, ilustrando os ecrãs de *Login*, *Perfil do Utilizador* e *Lista de Treinos*.

A Figura 3.3 apresenta uma síntese dos principais ecrãs desenvolvidos em Figma, representando o fluxo funcional da aplicação desde a autenticação até à execução de um treino. Os exemplos incluem os ecrãs de *Login*, *Perfil do Utilizador* e *Lista de Treinos*, considerados representativos do processo de navegação e personalização implementado no protótipo. A versão final da aplicação, descrita no Capítulo 4, baseia-se nestes princípios mas apresenta diferenças gráficas e estruturais resultantes das adaptações técnicas e dos testes realizados.

Esta estrutura visual permitiu representar de forma integrada a sequência de utilização da aplicação, facilitando a compreensão do fluxo de navegação e das relações entre os principais módulos do sistema.

A adoção de Figma como ferramenta de apoio à conceção permitiu acelerar a prototipagem e testar alternativas de interação de forma iterativa, possibilitando uma análise mais rápida das opções de navegação e de disposição dos elementos visuais. Esta abordagem facilitou o diálogo com o orientador e apoiou a validação das decisões de interface tomadas ao longo do desenvolvimento, garantindo coerência entre o design planeado e a implementação prática. O processo resultou numa base sólida para a fase de implementação exploratória descrita no capítulo seguinte, assegurando uma correspondência funcional entre a arquitetura proposta e a experiência real de utilização.



## Capítulo 4

# Análise e Descrição das Interfaces da Aplicação

Este capítulo descreve o processo de implementação prática da solução proposta, apresentando o estado funcional da aplicação *GymTrail*, as integrações realizadas e as principais decisões técnicas tomadas durante o desenvolvimento. São igualmente identificados os componentes já consolidados e os que se encontram em fase de teste ou de futura integração.

### 4.1 Análise Funcional da Aplicação

A aplicação *GymTrail* foi desenvolvida em *React Native CLI* com *TypeScript*, adotando uma estrutura modular organizada por pastas de navegação, serviços e ecrãs, cada uma com ficheiros de estilos independentes. Esta abordagem garante separação lógica entre interface, lógica de negócio e acesso a dados, facilitando a manutenção e a expansão futura do sistema.

A comunicação com a *cloud* é assegurada pela plataforma *Firebase*, que fornece os serviços de *Authentication* para a gestão de sessões, *Cloud Firestore* para armazenamento de perfis e metadados de planos de treino, e *Cloud Storage* para ficheiros multimédia,

como imagens de perfil e vídeos. Para testar a sincronização e a gestão de conteúdos, foi ativado o plano *Blaze*, que permite o uso controlado do *Storage* com custos marginais. Dado que os vídeos e imagens são também armazenados localmente no dispositivo, a aplicação mantém independência funcional mesmo sob as limitações do plano gratuito, assegurando consistência entre o armazenamento local e o remoto.

Antes de descrever os componentes técnicos da aplicação, é importante compreender a forma como os diferentes intervenientes interagem com o sistema. A Figura 4.1 apresenta o diagrama de casos de uso, que ilustra os principais atores e as suas ações no contexto da aplicação *GymTrail*.

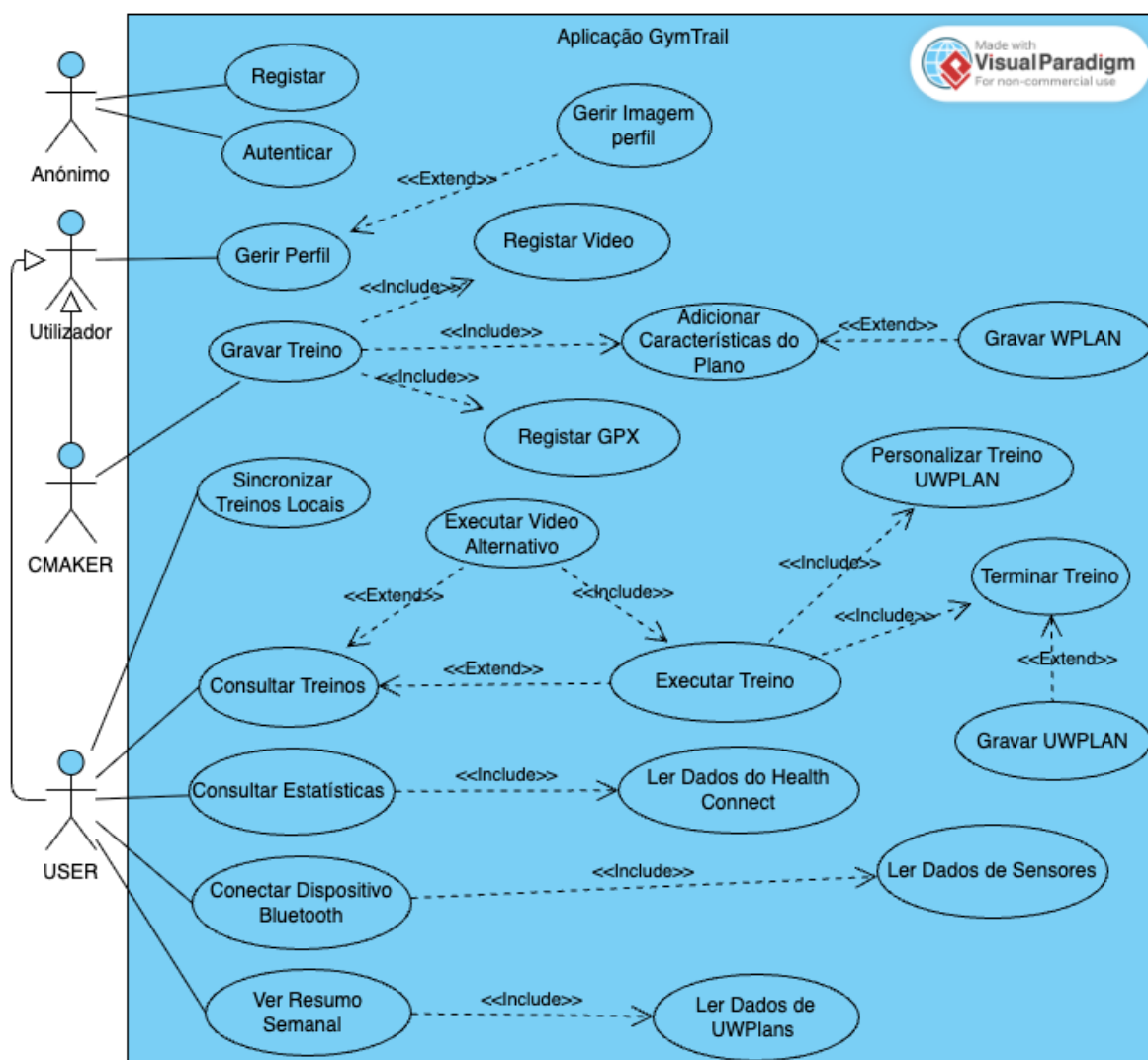


Figura 4.1: Diagrama de casos de uso da aplicação *GymTrail*.

O ator *Anónimo* representa o utilizador que ainda não possui conta ou sessão iniciada na aplicação. Neste estado, é possível apenas efetuar o registo e autenticação, garantindo o acesso seguro às restantes funcionalidades.

Depois de autenticado, o ator *Utilizador* pode aceder e gerir o seu perfil, alterando informações pessoais ou a imagem associada. Esta gestão permite manter os dados atualizados e sincronizados entre dispositivos.

O ator *CMAKER* (criador de conteúdos) é responsável por criar planos de treino originais, designados por *WPLANs*. Para tal, inicia o processo de gravação de vídeo, durante o qual são registados em simultâneo o vídeo da sessão e os dados de localização do percurso em formato GPX. Após concluir a gravação, o criador introduz as características do plano — como o título, a descrição, o tipo de desporto ou o nível de dificuldade — e confirma a sua criação, ficando o treino gravado e disponível para validação.

O ator *USER* representa o utilizador que executa e personaliza os treinos criados pelos *CMAKERS*. A partir da lista de treinos disponíveis, pode escolher um treino e iniciar a sua execução, ou optar por selecionar um vídeo alternativo do próprio dispositivo. Nesse caso, o treino é executado com esse novo vídeo, mas mantendo as métricas e o percurso do plano original. Durante a execução, o utilizador pode ajustar parâmetros como velocidade, intensidade ou duração, criando uma versão personalizada do plano, designada *UWPLAN*. Ao terminar a sessão, o utilizador decide se pretende apenas concluir o treino ou guardar as alterações efetuadas, gravando o novo *UWPLAN*.

A aplicação disponibiliza ainda funcionalidades de sincronização e monitorização. O utilizador pode enviar para a *cloud* os treinos realizados em modo offline, garantindo que todos os dados ficam armazenados centralmente. No domínio das estatísticas, é possível consultar as métricas recolhidas pelo sistema *Health Connect*, que integra automaticamente dados como passos, calorias, frequência cardíaca e peso. Adicionalmente, o painel de conectividade permite emparelhar a aplicação com dispositivos *Bluetooth*, incluindo equipamentos de treino compatíveis com o protocolo FTMS, para leitura em tempo real de métricas. Este painel inclui também um modo de diagnóstico avançado, destinado

a utilizadores com permissões especiais, que permite visualizar e testar as comunicações entre sensores e aplicação. Por fim, a funcionalidade *Resumo Semanal* apresenta uma síntese dos treinos realizados, mostrando o número total de sessões, tempo de exercício e calorias queimadas, com base nos dados registados nos planos personalizados do utilizador. No mesmo painel, são igualmente exibidos os treinos e vídeos mais utilizados, oferecendo ao utilizador uma visão resumida da sua atividade e das tendências gerais da comunidade.

No conjunto, estas funcionalidades refletem o funcionamento integrado da *GymTrail*, que combina a criação de planos multimédia com a sua execução e análise personalizada, permitindo ao utilizador explorar, adaptar e acompanhar o seu desempenho físico ao longo do tempo.

A implementação da aplicação baseia-se numa arquitetura modular, organizada em componentes independentes e coerentes entre si, o que facilita a manutenção e a evolução futura do sistema. Esta estrutura assegura uma separação clara entre a lógica de apresentação, os serviços de dados e a gestão de estado, garantindo robustez operacional e consistência visual face aos protótipos definidos no *Figma*.

A partir desta base funcional e estrutural, as secções seguintes descrevem as interfaces e integrações tecnológicas que concretizam o funcionamento da aplicação.

## 4.2 Interfaces da aplicação

As interfaces da aplicação *GymTrail* foram concebidas de acordo com os protótipos definidos em *Figma*, priorizando simplicidade visual e consistência entre ecrãs. Cada componente segue a identidade gráfica definida na fase de design, garantindo coerência entre cores, tipografia e espaçamento. As interfaces foram desenvolvidas de forma responsiva, adaptando-se automaticamente à orientação do dispositivo e a diferentes tamanhos de ecrã.

O ecrã inicial (Home), ilustrado na Figura 4.2, funciona como ponto central de navegação, apresentando os acessos às principais funcionalidades da aplicação: listagem de planos de treino, gravação de percursos e gestão do perfil do utilizador. Inclui ainda o botão *Sync Local Plans*, responsável por sincronizar os treinos armazenados no dispositivo com a *cloud*. Esta funcionalidade representa a implementação prática do modelo *edge-cloud*, permitindo que a recolha e o registo dos dados ocorram mesmo sem ligação à Internet, sendo enviados posteriormente para o *Firestore*. O design do ecrã foi otimizado para uso em mobilidade, privilegiando elementos de grande dimensão e elevado contraste, adequados a contextos de treino.

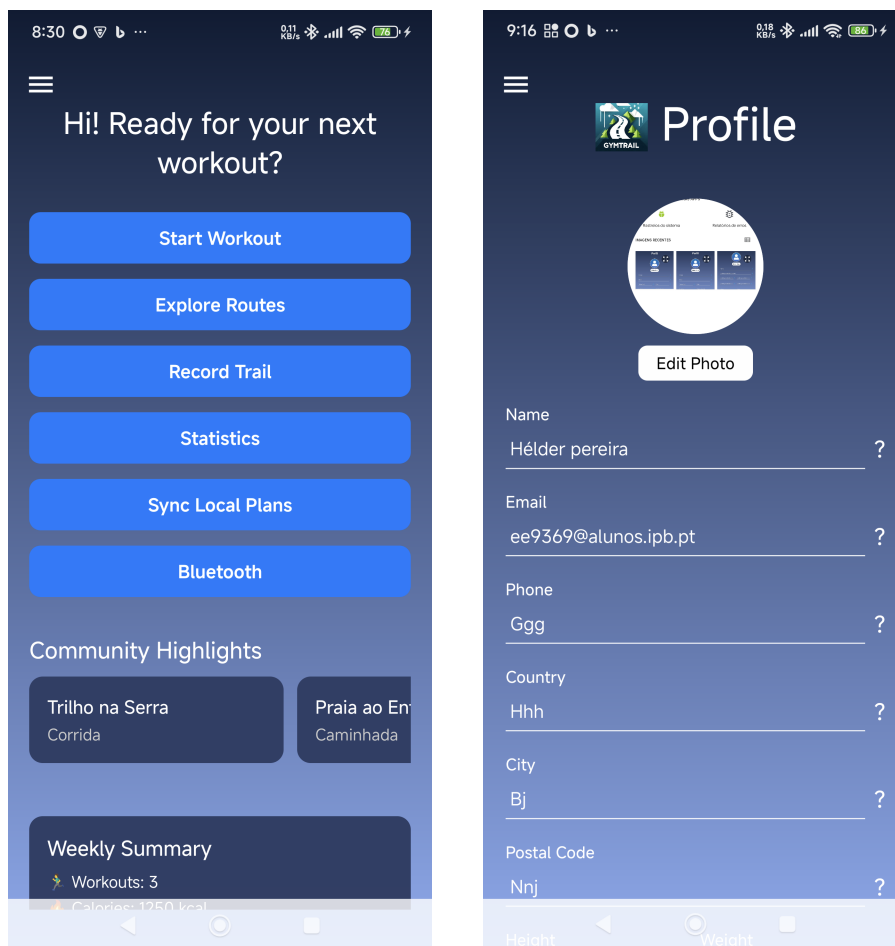


Figura 4.2: Ecrãs principais da aplicação: *Home* e *Perfil do Utilizador*.

O ecrã de *Perfil do Utilizador* apresenta a área de personalização da experiência de

treino. Os campos de altura, peso, calorias, frequência cardíaca, passos e distância constituem as variáveis base que serão utilizadas para ajustar os planos de treino personalizados (*UWPLANs*). A definição destes parâmetros permite que a aplicação adapte progressivamente a intensidade e o volume de exercício ao perfil físico de cada utilizador. O ecrã inclui ainda validação visual de campos numéricos, mensagens de ajuda contextuais e a possibilidade de carregar ou remover a imagem de perfil no *Storage*. A recolha local destas métricas prepara a integração futura de algoritmos de recomendação, capazes de otimizar os planos com base na evolução registada.

### 4.2.1 Interfaces do subsistema de Criação de Conteúdos

O subsistema *Criação de Conteúdos* (CMAKER), corresponde à componente da aplicação responsável pela recolha e caracterização dos percursos de treino. Nesta fase, o utilizador atua como criador de conteúdos, gravando vídeos, recolhendo dados geográficos e introduzindo informação descritiva necessária para que o plano possa ser posteriormente reproduzido ou partilhado. As interfaces seguintes ilustram as principais etapas deste processo de criação.

O módulo *Trail Recording* é responsável pela captação dos dados do percurso e pelo registo em formato GPX, combinando informação de localização, tempo e velocidade média. O ecrã permite iniciar, pausar e terminar a gravação do treino, com atualização contínua das métricas apresentadas no painel principal. Durante a gravação, o utilizador pode visualizar a câmara em tempo real, obtendo uma perceção visual do ambiente enquanto os dados de deslocamento são registados em paralelo.

A recolha é efetuada através dos sensores internos do dispositivo — GPS, acelerómetro e câmara — assegurando a captura de dados mesmo sem ligação à Internet. Em cada sessão, são registadas as coordenadas iniciais e os pontos subsequentes do percurso, que permitem posteriormente representar graficamente o trajeto num ecrã de mapa dedicado. Em paralelo, funções locais processam as leituras de posição e tempo para atualização das métricas visíveis (distância, duração e velocidade média), cujos métodos de cálculo e

resultados serão analisados no Capítulo 5. A Figura 4.3 apresenta o ecrã de gravação, nas orientações vertical e horizontal, que materializa estas funcionalidades.

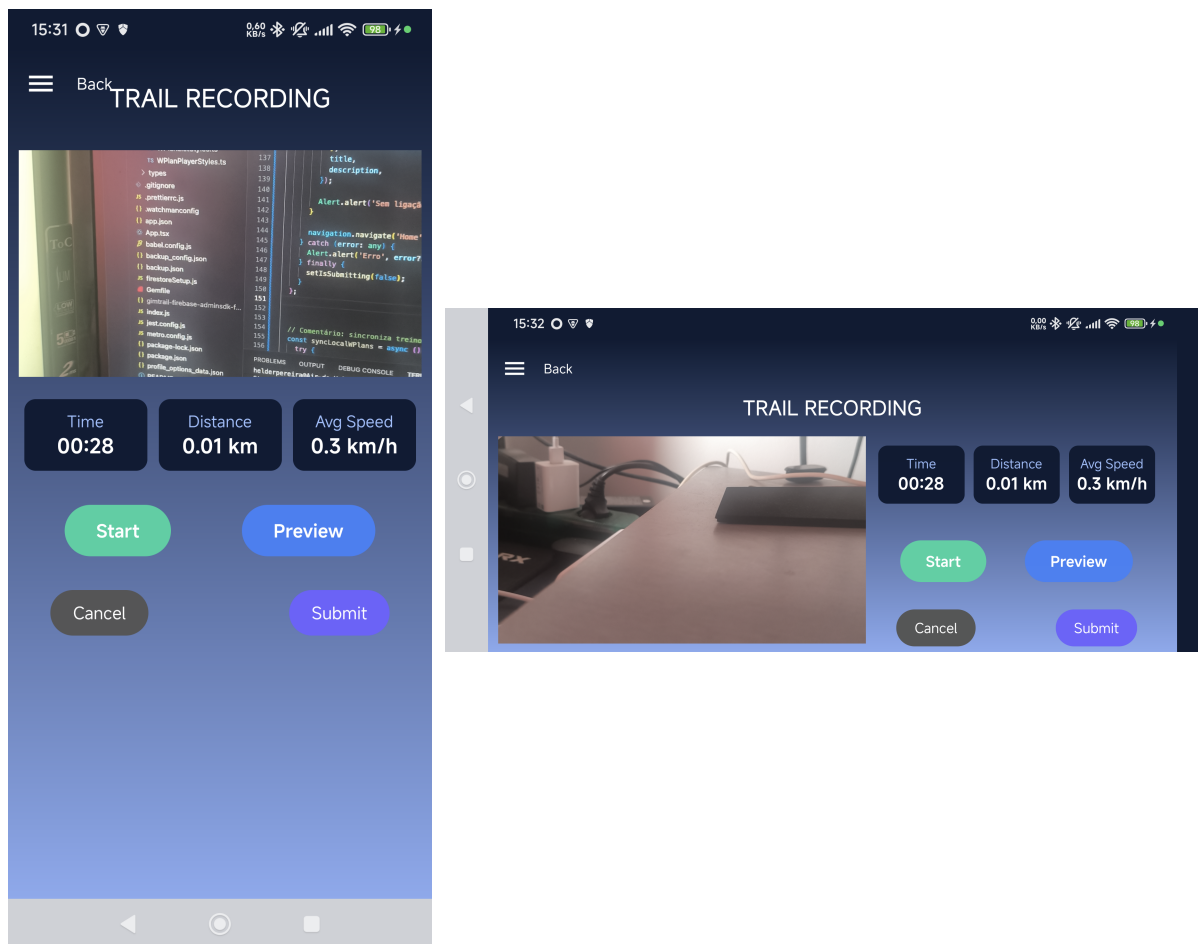


Figura 4.3: Ecrã de gravação de trilhos nas orientações vertical e horizontal.

Os valores recolhidos são mantidos no estado local da aplicação e armazenados no final de cada sessão. O utilizador pode optar por guardar o treino no dispositivo, através do serviço `localWPlansService`, ou sincronizá-lo com a *cloud* via `firebaseService`. Cada registo inclui as métricas fundamentais associadas ao respetivo ficheiro GPX, que é guardado localmente e pode ser enviado para o *Firestore*. Esta abordagem confirma o modelo *edge-cloud* adotado, no qual o dispositivo atua como nó de recolha e pré-processamento, assegurando funcionamento contínuo mesmo em modo offline.

A disposição horizontal foi otimizada para utilização em suportes fixos, como bicicletas

ou passadeiras, apresentando maior destaque para a visualização da câmara e dos dados de progresso. Ambas as versões mantêm os mesmos controlos e lógica de funcionamento, garantindo uma experiência uniforme e contínua. Esta dualidade entre gravação e visualização reforça o objetivo da aplicação: disponibilizar uma ferramenta flexível e autónoma para registo e acompanhamento da atividade física em ambientes interiores e exteriores.

Após a conclusão da gravação, o subsistema encaminha o utilizador para o ecrã *Trail Data*, responsável pela introdução e validação dos metadados associados ao percurso. A Figura 4.4 ilustra este ecrã, no qual o utilizador finaliza a caracterização do percurso antes de o guardar no dispositivo ou sincronizar com a *cloud* através do `firebaseService`.

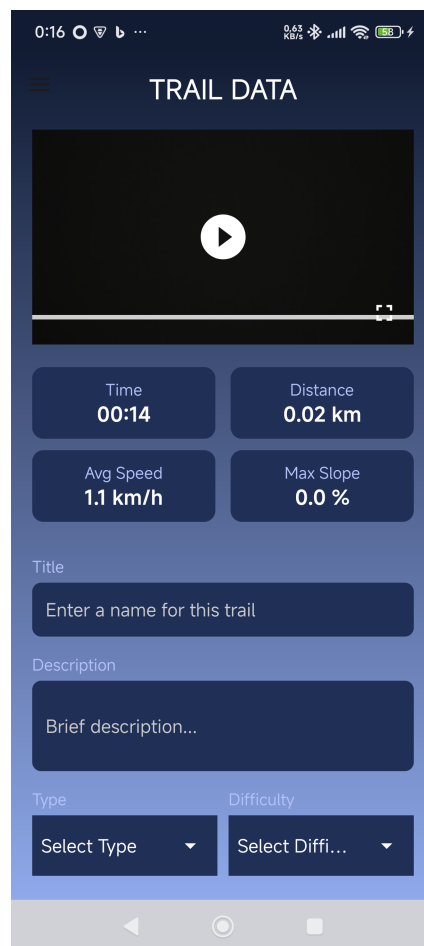


Figura 4.4: Ecrã *Trail Data* com visualização do vídeo e carregamento automático das métricas extraídas da gravação.

Nesta etapa são carregadas e apresentadas as métricas extraídas a partir do ficheiro GPX — duração total, distância percorrida, velocidade média e inclinação máxima — permitindo ao utilizador confirmar a consistência dos dados antes de proceder ao armazenamento ou publicação do plano. O vídeo captado durante a gravação é igualmente apresentado neste ecrã, possibilitando uma pré-visualização rápida do conteúdo multimédia que integrará o WPLAN.

A interface disponibiliza ainda campos para a introdução do título do percurso, descrição textual, tipo de atividade (por exemplo, corrida, caminhada ou ciclismo) e nível de dificuldade. Estes elementos compõem a componente descritiva do plano, sendo fundamentais para a sua posterior identificação e apresentação no catálogo local ou público.

Esta fase representa o último passo do processo de criação de conteúdos do subsistema CMAKER, assegurando a completude dos metadados e a uniformidade de todos os WPLANs gerados.

## 4.2.2 Interfaces do subsistema de Utilização de Conteúdos

O subsistema *Activity User* (USER) integra as interfaces destinadas à utilização e monitorização dos treinos. Nesta vertente, o utilizador acede ao seu perfil, seleciona planos de treino, visualiza rotas no mapa e executa sessões acompanhadas por métricas em tempo real. A aplicação disponibiliza duas formas de seleção dos planos de treino: o modo *Lista*, que apresenta os percursos em formato textual, e o modo *Mapa*, que permite explorá-los graficamente por localização. Ambos partilham a mesma lógica de interação, em que os botões **Play** e **Load** seguem o mesmo fluxo de execução e abrem o treino diretamente no *Player*. O mapa recorre à biblioteca `react-native-webview` para executar o motor *Leaflet* com mosaicos *OpenStreetMap*, substituindo o módulo nativo `react-native-maps` para garantir compatibilidade plataforma-cruzada e reduzir dependências externas. Para assegurar consistência entre interfaces, ambos os modos obtêm os mesmos dados pré-processados do WPLAN, incluindo título, distância, duração e intensidade, permitindo ao utilizador identificar rapidamente o treino. A Figura 4.5 ilustra as principais interfaces

desta componente.

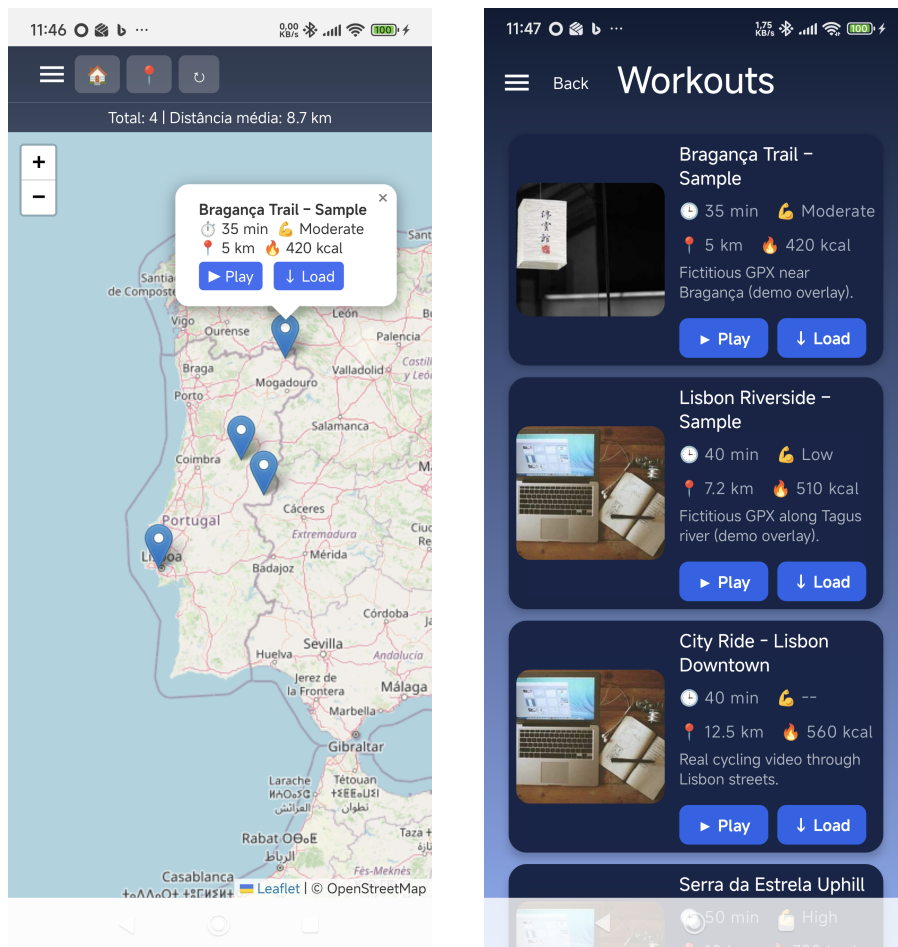


Figura 4.5: Modos de seleção de planos de treino: *Mapa* (esquerda) e *Lista de Treinos* (direita).

O resultado é um sistema de navegação mais intuitivo e uniforme, que amplia a interação do utilizador com os treinos disponíveis. A Figura 4.6 ilustra a interface que permite visualizar os treinos.

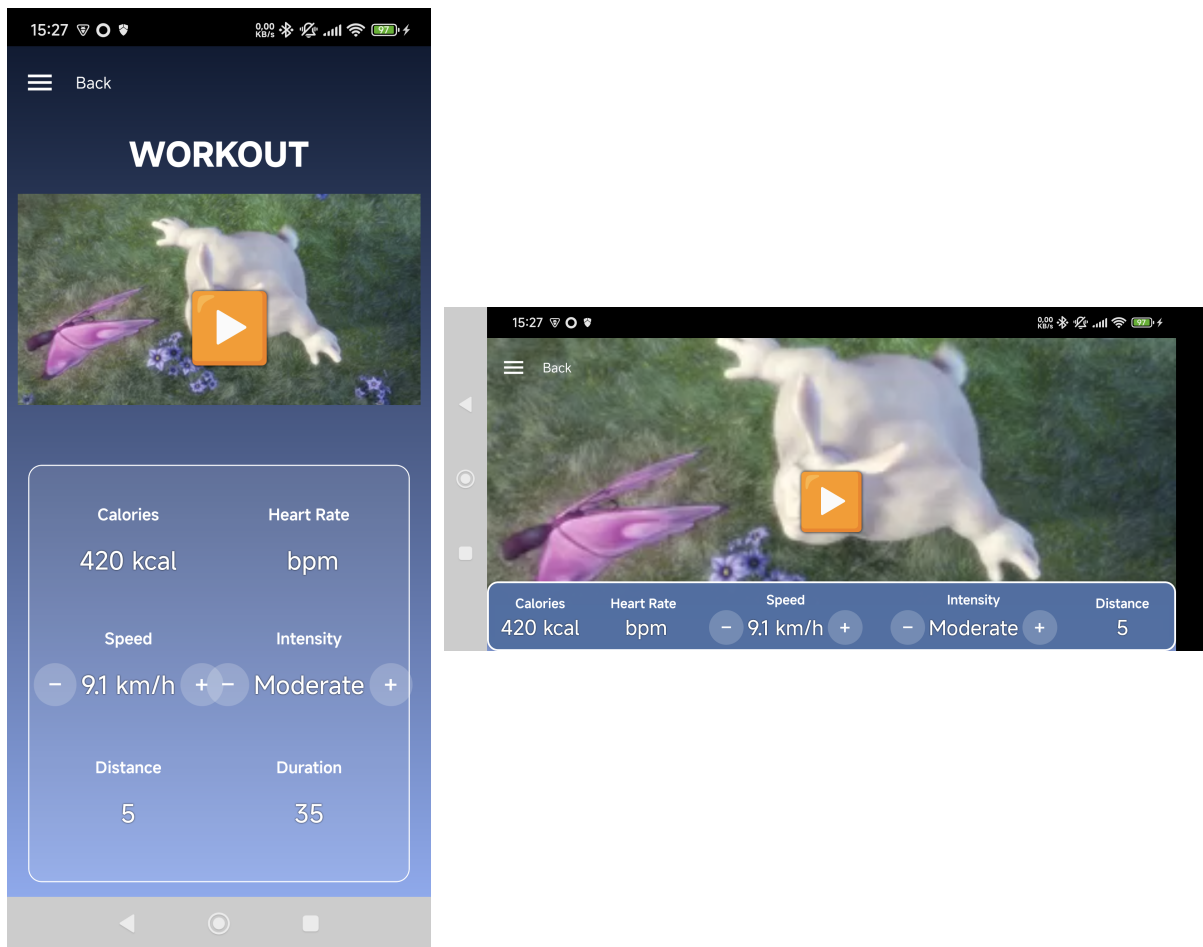


Figura 4.6: Ecrã *Player* nas orientações vertical e horizontal.

O ecrã *Player* é responsável pela reprodução do treino selecionado, sincronizando o vídeo com os dados contextuais (GPX) e as métricas recolhidas através do *Health Connect*. Durante a execução, o utilizador pode ajustar parâmetros de ritmo e intensidade, modificando simultaneamente a velocidade de reprodução do vídeo e os valores registados no plano personalizado (*UWPLAN*). A interface adapta-se automaticamente à orientação do dispositivo, garantindo uma transição fluida entre modos e uma experiência imersiva consistente. Esta abordagem assegura o funcionamento completo da aplicação mesmo para utilizadores sem equipamentos compatíveis com o protocolo *FTMS*, preparando a integração futura com dispositivos BLE.

**Integração com dados biométricos — Health Connect** A aplicação *GymTrail* integra o módulo *Google Health Connect*, que permite aceder, de forma controlada, a dados de saúde e atividade física armazenados no dispositivo.

A Figura 4.7 apresenta as interfaces do sistema Android associadas à autorização de acesso. À esquerda observa-se o gestor geral de permissões, ao centro a lista de aplicações com acesso autorizado — onde surge a *GymTrail* — e à direita o painel detalhado de permissões concedidas, que incluem passos, calorias, peso, frequência cardíaca e distância percorrida.

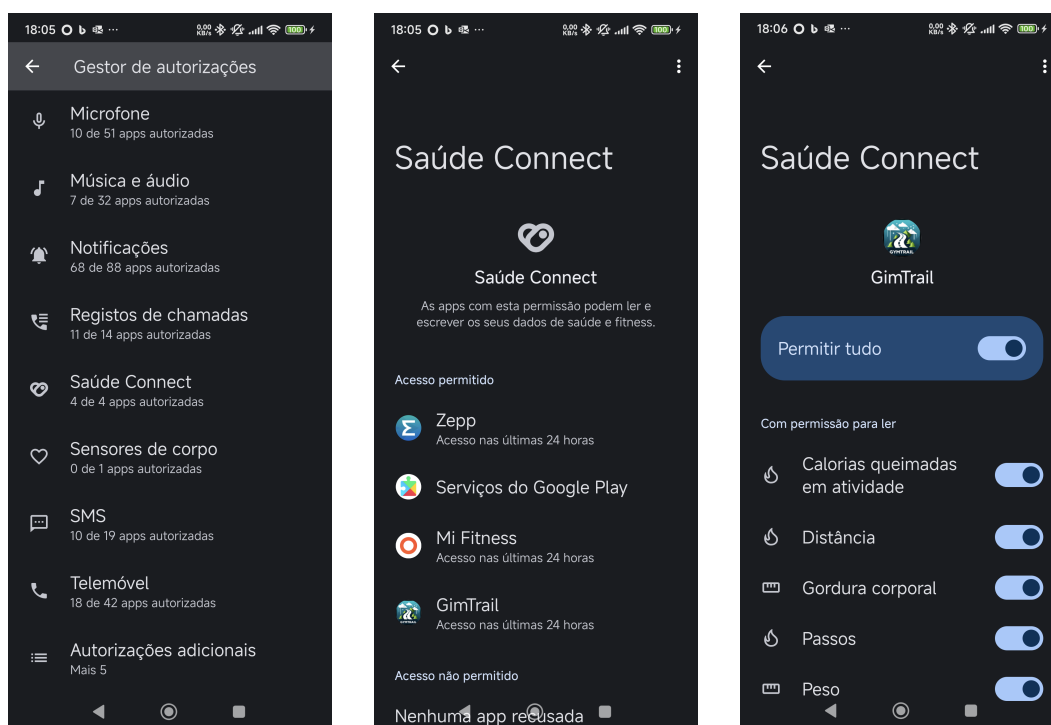


Figura 4.7: Integração da *GymTrail* com o *Health Connect*.

A partir do Android 14, este componente passou a integrar o núcleo do sistema operativo, assegurando maior segurança e interoperabilidade entre aplicações de saúde, sem necessidade de múltiplas ligações diretas a sensores ou serviços externos. Os dados obtidos através do *Health Connect* são utilizados pela aplicação para complementar as métricas registadas localmente, ampliando o perfil do utilizador e permitindo cruzar informações provenientes de diferentes fontes de atividade física. O processo técnico de configuração

e comunicação é detalhado no Capítulo 5.

**Comunicação Bluetooth Low Energy (BLE)** A aplicação *GymTrail* inclui um módulo dedicado à comunicação *Bluetooth Low Energy* (BLE), desenvolvido com a biblioteca *react-native-ble-plx*. Este módulo permite detetar dispositivos de treino compatíveis, estabelecer ligação e recolher informações sobre os serviços BLE disponíveis. A implementação segue uma estrutura modular, com funções separadas para pesquisa, emparelhamento, leitura e desconexão, garantindo robustez e tratamento seguro de exceções.

A Figura 4.8 apresenta as três interfaces principais deste módulo: deteção de dispositivos, relatório de serviços e características identificados e análise automática dos UUIDs recolhidos durante o processo de descoberta.



Figura 4.8: Interfaces BLE: deteção de dispositivos (esquerda), relatório técnico dos serviços identificados (centro) e análise automática dos UUIDs (direita).

Durante a implementação verificou-se a necessidade de otimizar os ciclos de varrimento e emparelhamento, de modo a evitar sobrecarga de eventos e ligações duplicadas, bem

como de aplicar permissões explícitas através da biblioteca `react-native-permissions`, garantindo compatibilidade com as versões mais recentes do Android. A biblioteca escolhida revelou-se a mais estável no ecossistema *React Native*, assegurando comunicação consistente durante sessões prolongadas de teste e reduzindo falhas ocasionais de ligação.

A Figura 4.8 evidencia também os diferentes níveis de informação recolhidos. O ecrã de deteção lista os dispositivos próximos, permitindo ligação direta ou execução do modo *Debug*. O ecrã central apresenta o relatório técnico com os serviços e características disponíveis, incluindo dispositivos como a balança inteligente (*Mi Scale 2*) e o relógio *Amazfit GTS*. O terceiro ecrã demonstra a geração automática de uma análise interpretativa dos UUIDs, apoiada por um mecanismo de exportação (*Copy*) implementado com `@react-native-clipboard/clipboard`, facilitando o estudo e documentação externa dos resultados.

A análise detalhada destes relatórios BLE e a descrição técnica dos protocolos identificados serão aprofundadas no Capítulo 5.

## Capítulo 5

# Integração de Sensores e Dispositivos

A recolha e integração de dados fisiológicos e contextuais constituem o passo seguinte à implementação das interfaces e funcionalidades apresentadas no capítulo anterior. Esta componente visa transformar a aplicação *GymTrail* numa plataforma capaz de agregar informação proveniente de múltiplas fontes — desde os sensores internos do dispositivo móvel até equipamentos externos e aplicações de saúde — assegurando uma visão integrada do desempenho físico do utilizador.

A integração de sensores foi estruturada em dois níveis complementares. O primeiro, de natureza oficial e estável, recorre ao *Google Health Connect* como ponto central de acesso às métricas de saúde e atividade física armazenadas no sistema *Android*. O segundo nível, de carácter experimental, explora a comunicação direta com dispositivos compatíveis através do protocolo *Bluetooth Low Energy* (BLE), utilizando a biblioteca `react-native-ble-plx` e os protocolos definidos pelo *Fitness Machine Service* (FTMS).

Estas abordagens foram complementadas pela integração de sensores em *Wear OS*, permitindo recolher métricas diretamente de relógios inteligentes, e pela introdução de métodos locais de cálculo e otimização, que garantem a coerência entre dados e vídeo durante o treino. O conjunto das integrações assegura interoperabilidade entre aplicações, sensores e plataformas de treino, reduz dependências proprietárias e estabelece uma base sólida para a personalização das experiências de utilização.

Nas secções seguintes são apresentados os principais métodos, resultados e limitações observadas durante o processo de integração e calibração dos sensores.

## 5.1 Integração via Google Health Connect

Esta secção descreve a integração efetiva do *Google Health Connect* na aplicação *GymTrail*, detalhando a arquitetura nativa, o fluxo de autorização e a interface de apresentação dos dados recolhidos. O enquadramento conceptual desta API encontra-se apresentado no Capítulo 3.3.

### 5.1.1 Arquitetura e implementação nativa

A comunicação entre a aplicação *React Native* e o módulo *Health Connect* é realizada através de um componente nativo desenvolvido em *Kotlin*, que expõe métodos assíncronos à camada JavaScript. Este módulo atua como uma ponte entre as bibliotecas Android e o código da aplicação, permitindo aceder, de forma controlada, às métricas de saúde do dispositivo.

O módulo `HealthConnectBridge` foi registado no `MainApplication.kt` e disponibiliza as funções `readSteps()`, `readHeartRate()`, `readCalories()`, `readWeight()`, `readDistance()`, `readSleep()` e `readBodyFat()`. Todas as leituras são filtradas para o período diário, utilizando o intervalo `TimeRangeFilter.between(startOfDay, now)`. Este método garante a coerência temporal dos dados, embora implique que, em determinadas situações — como início do dia ou falta de sincronização entre aplicações de saúde —, algumas métricas sejam apresentadas com o valor - por ausência de registos recentes.

A Listagem 5.1 apresenta um excerto ilustrativo do código implementado no módulo nativo responsável pela leitura de passos através do *Health Connect*.

Listing 5.1: Leitura de passos através do módulo nativo Health Connect

```
1
2 @ReactMethod
3 fun readSteps(promise: Promise) {
4     val hc = client ?: return promise.reject("NO_CLIENT", "Cliente
5         nao inicializado")
6
7     CoroutineScope(Dispatchers.IO).launch {
8         val now = Instant.now()
9         val startOfDay = now.truncatedTo(ChronoUnit.DAYS)
10
11         val response = hc.readRecords(
12             ReadRecordsRequest(
13                 StepsRecord::class,
14                 TimeRangeFilter.between(startOfDay, now)
15             )
16         )
17
18         val totalSteps = response.records.sumOf { it.count.toInt() }
19
20         promise.resolve(totalSteps)
21     }
```

No contexto do *React Native*, as operações são expostas através do módulo `HealthConnectBridge.ts` e invocadas de forma assíncrona, tal como exemplificado na Listagem 5.2.

Listing 5.2: Leitura paralela de metricas através do Health Connect

```
1
2 const [steps, hr, calories, weight, distance, sleep, fat] =
3     await Promise.all([
4     readSteps(),
5     readHeartRate(),
6     readCalories(),
7     readWeight(),
8     readDistance(),
9     readSleep(),
10    readBodyFat(),
11  ]);
12
13 .
```

### 5.1.2 Fluxo de permissões e autorização

O processo de autorização é realizado pelo próprio sistema Android, através do gestor central do *Health Connect*. A aplicação solicita permissões de leitura para as métricas necessárias, incluindo passos, calorias, peso e distância, sendo o resultado armazenado localmente após confirmação do utilizador. A Figura 5.1 mostra as interfaces nativas do Android utilizadas neste processo. Na imagem central destaca-se a lista de aplicações que podem fornecer ou consumir dados de saúde, onde surgem, entre outras, a *GymTrail*, a *Zepp*, os *Google Play Services* e a *Mi Fitness*. Estas aplicações constituem, no momento atual, as fontes principais que alimentam o *Health Connect* com dados biométricos, tornando-os posteriormente acessíveis à *GymTrail* para cálculo das métricas de treino.

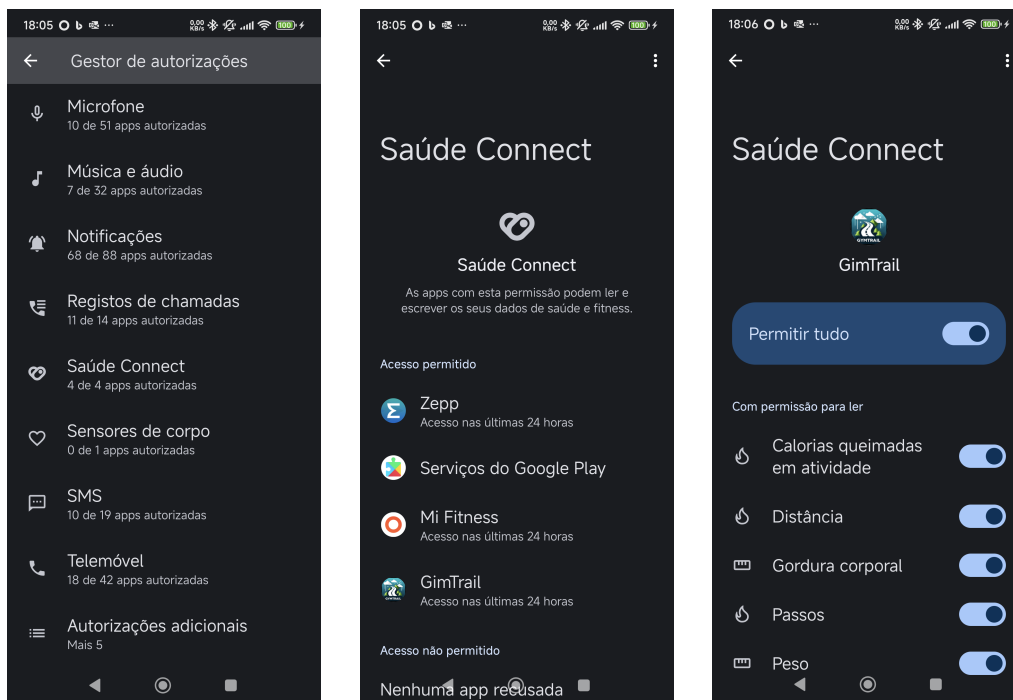


Figura 5.1: Gestão de permissões do *Health Connect*: gestor geral (esquerda), lista de aplicações com acesso (centro) e permissões atribuídas à *GymTrail* (direita).

### 5.1.3 Interface de estatísticas e resultados obtidos

A interface de *Estatísticas*, ilustrada na Figura 5.2, permite visualizar as métricas recolhidas pelo *Health Connect*. O ecrã apresenta uma tabela com as principais informações — passos, calorias, peso, distância, sono e gordura corporal — atualizadas em tempo real através das funções descritas anteriormente. Os valores - indicam métricas sem registos disponíveis no dia da consulta, situação comum quando ainda não ocorreu sincronização entre as aplicações de origem (ex.: Mi Fitness ou Google Fit) e o módulo *Health Connect*.



Figura 5.2: Ecrã de *Estatísticas* da aplicação *GymTrail*, com valores diários obtidos através do *Health Connect*.

A recolha é atualizada automaticamente ao iniciar a aplicação, podendo os valores refletir pequenas diferenças entre ciclos de sincronização das aplicações de origem.

#### 5.1.4 Síntese e contributo técnico

A integração do *Health Connect* comprovou a viabilidade de recolher dados de saúde de forma padronizada no ambiente Android, sem dependência de SDKs proprietários. O

desenvolvimento do módulo nativo em *Kotlin* constitui um contributo técnico relevante, uma vez que não existia suporte oficial estável para *React Native* à data da implementação. A solução validou com sucesso a leitura de passos, calorias, peso, distância, sono e gordura corporal, garantindo estabilidade e coerência dos resultados. Apesar da limitação temporária na leitura de frequência cardíaca, o sistema demonstra capacidade de integração real com o ecossistema de saúde do Android e estabelece a base para sincronização automática dos dados com o perfil do utilizador.

## 5.2 Integração Bluetooth Low Energy (BLE) e Protocolos FTMS

A integração *Bluetooth Low Energy* (BLE) surge como complemento direto à integração via *Google Health Connect* descrita na Secção 5.1. Enquanto o *Health Connect* fornece acesso padronizado a dados de saúde armazenados no sistema operativo — passos, calorias, peso e outras métricas agregadas —, a comunicação BLE permite aceder a informação em tempo real proveniente de *equipamentos de treino* compatíveis com o protocolo *Fitness Machine Service* (FTMS), como bicicletas ergométricas, passadeiras ou máquinas elípticas. Esta abordagem é essencial para a monitorização dinâmica durante o exercício, uma vez que os equipamentos FTMS transmitem variáveis instantâneas de velocidade, potência, cadência e resistência, impossíveis de obter através das interfaces de alto nível do *Health Connect*. Assim, o BLE não substitui a tecnologia anterior: complementa-a, garantindo a aquisição direta e imediata de métricas emitidas pelos dispositivos de treino durante a execução do plano.

A integração de comunicações *Bluetooth Low Energy* (BLE) na aplicação *GymTrail* teve como principal objetivo permitir a deteção e leitura de dispositivos de treino compatíveis com o protocolo *Fitness Machine Service* (FTMS), bem como a identificação automática de serviços e características BLE padronizados e proprietários. Esta integração complementa o modelo baseado no *Google Health Connect*, permitindo o acesso direto

a dados provenientes de equipamentos externos. As principais *characteristics* do protocolo FTMS encontram-se resumidas no Apêndice A.1, permitindo relacionar diretamente os identificadores detetados com as especificações oficiais da *Bluetooth SIG*.

As interfaces apresentadas no Capítulo 4 serviram de base para a execução prática deste módulo, assegurando a ligação entre a implementação das funcionalidades de deteção e o processo de análise dos serviços BLE descrito nesta secção.

O módulo BLE foi desenvolvido com a biblioteca `react-native-ble-plx`, que oferece funcionalidades de *advertising*, *scanning*, ligação e descoberta de serviços em dispositivos BLE. Durante a fase de *advertising*, os dispositivos de treino transmitem pacotes de anúncio contendo identificadores universais (*UUIDs*) e dados de fabricante. Na fase de *scanning*, a aplicação deteta esses anúncios e estabelece ligação com o dispositivo selecionado. Após a conexão, é executado o método `discoverAllServicesAndCharacteristics()`, que obtém a lista completa de *services* e *characteristics* disponíveis. Cada identificador (UUID) é então comparado com uma base de dados local construída a partir dos ficheiros oficiais de *Assigned Numbers* publicados pela *Bluetooth SIG* [43], que definem os identificadores universais dos serviços e características BLE.

Os ficheiros originais, disponibilizados publicamente pela *Bluetooth SIG* [43], incluem os UUIDs padronizados (ex.: `0x1826` = *Fitness Machine Service*, `0x2ACD` = *Treadmill Data*) e a lista de fabricantes registados (*Vendor Identifiers*, VID), entre os quais *Xiaomi Inc.*, *Huami Information Technology Co.*, *Garmin Ltd.* e *Fitbit*. Estas bases permitem identificar tanto os serviços padrão como os serviços proprietários associados a fabricantes registados. A *Bluetooth SIG* apenas publica os identificadores universais; os UUIDs privados, derivados do VID, não são divulgados publicamente, a menos que o fabricante os disponibilize no seu SDK ou documentação oficial.

A aplicação recorre a esta base local para reconhecer automaticamente os serviços detetados, classificando-os como:

- a) **Serviços padronizados** — presentes nos ficheiros de *Assigned Numbers*, reconhecidos por UUID (ex.: `0x1826` – FTMS, `0x180D` – Heart Rate);

- b) **Serviços proprietários** — UUIDs não listados, mas associados a um fabricante identificado através do *Vendor ID* presente no pacote de publicidade BLE;
- c) **Serviços desconhecidos** — UUIDs não encontrados nem nos *Assigned Numbers* nem nos identificadores de fabricante, podendo ser descritos automaticamente por um módulo de apoio baseado em IA.

O excerto de código 5.3 ilustra o processo de detecção e mapeamento automático de serviços, implementado em *TypeScript* no módulo `sensorsService.ts`. Este código percorre os serviços descobertos num dispositivo BLE e utiliza a função `getBleDescription()` para traduzir cada UUID para o nome oficial ou, caso seja proprietário, associá-lo ao respetivo fabricante.

Listing 5.3: Mapeamento automatico de servicos BLE e FTMS

```
1
2 const manager = new BleManager();
3
4 async function scanAndIdentify() {
5     manager.startDeviceScan(null, null, async (error, device) => {
6         if (error || !device) return;
7
8         await device.connect();
9         await device.discoverAllServicesAndCharacteristics();
10
11        const services = await device.services();
12
13        for (const s of services) {
14            console.log("Serviço " + s.uuid + ": " +
15                getBleDescription(s.uuid));
16        }
17    });
18 }
```

Este procedimento garante o reconhecimento automático de todos os serviços BLE padrão, incluindo o protocolo FTMS (0x1826), que define as *characteristics* 0x2ACD (*Treadmill Data*) e 0x2AD9 (*Fitness Machine Control Point*). A análise de dispositivos como a *Mi Smart Scale 2* e o *Amazfit GTS* revelou a utilização de serviços proprietários (FEE0, FEE1, 0x1530-0x1532), baseados em mecanismos de autenticação cifrada do tipo *challenge-response* (AES), o que impede a leitura direta das métricas sem o emparelhamento oficial da marca.

Para estes casos, a aplicação mantém a capacidade de identificar o fabricante responsável e registrar os UUIDs proprietários detetados, utilizando o módulo de IA apenas para gerar descrições interpretativas. Este procedimento garante o reconhecimento automático dos serviços BLE padrão e a identificação dos protocolos proprietários. O fluxo geral da integração é sintetizado na Figura 5.3, que mostra desde a deteção inicial até à classificação dos serviços e à eventual intervenção do módulo de IA.

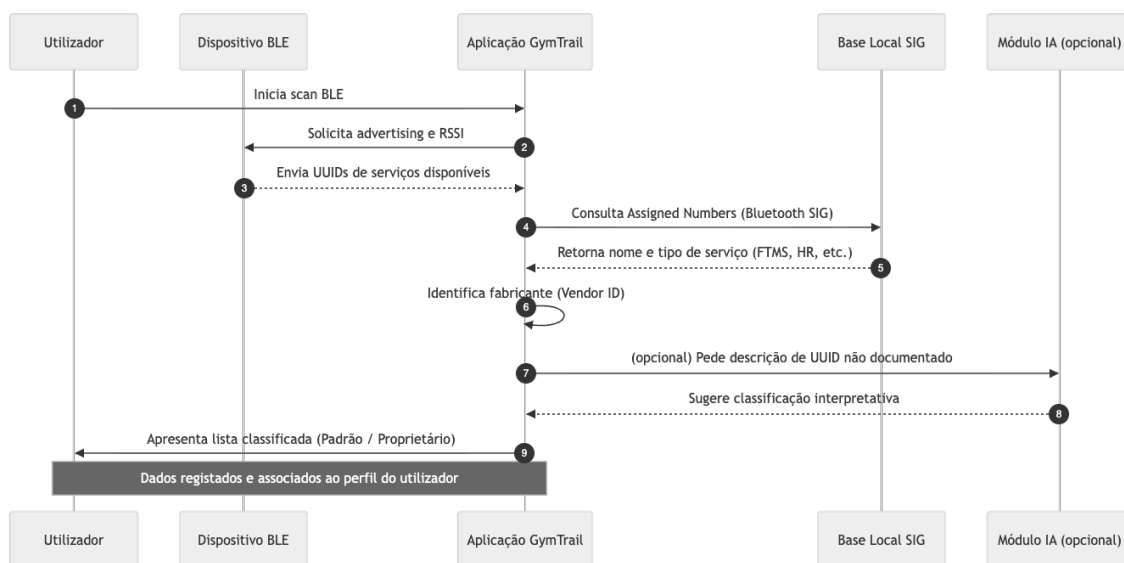


Figura 5.3: Fluxo geral da integração BLE na aplicação, desde a deteção até à classificação dos serviços, evidenciando o ponto em que ocorre a intervenção opcional do módulo de IA.

Após o início do processo de varrimento (*scan*) pelo módulo *react-native-ble-plx*, a

aplicação recebe os anúncios emitidos pelos dispositivos próximos, contendo os identificadores universais (*UUIDs*) dos serviços disponíveis. Estes identificadores são comparados localmente com a lista oficial de *Assigned Numbers* publicada pela *Bluetooth SIG*, permitindo reconhecer de forma imediata os serviços padronizados, como o *Fitness Machine Service (0x1826)* ou o *Heart Rate Service (0x180D)*. Quando um serviço não é encontrado nessa lista, a aplicação tenta identificar o fabricante através do respetivo *Vendor ID*, utilizando a base de dados pública de empresas registadas na *Bluetooth SIG*. Caso o *UUID* permaneça não documentado, o módulo de IA pode ser acionado para gerar uma descrição interpretativa, auxiliando a classificação de serviços proprietários ou desconhecidos. O resultado final é uma lista de serviços categorizados como *padrão*, *proprietário* ou *não identificado*, associada ao perfil do utilizador para referência futura e validação das integrações BLE–FTMS.

Em síntese, o módulo BLE da *GymTrail* garante a deteção e classificação automática dos serviços definidos pela *Bluetooth SIG*, complementando a recolha de métricas via *Health Connect* e reforçando a arquitetura híbrida da aplicação.

Em conclusão, a integração BLE–FTMS consolida a interoperabilidade da *GymTrail*, permitindo detetar e classificar automaticamente *equipamentos de treino* compatíveis com o protocolo *Fitness Machine Service*, bem como identificar sensores proprietários de fabricantes registados. A abordagem híbrida — combinando o mapeamento local de serviços com o apoio interpretativo do módulo de IA — assegura que a aplicação se mantém funcional mesmo perante *UUIDs* não documentados, reforçando o carácter universal e adaptativo da arquitetura proposta. Esta integração estabelece a base tecnológica para a comunicação direta com *equipamentos de treino* e complementa o modelo baseado no *Google Health Connect*, descrito na Secção 5.1, e a integração *Wear OS* abordada na Secção 5.3.

## 5.3 Integração com Wear OS

Para avaliar a leitura direta de sensores num dispositivo vestível, foi desenvolvida uma aplicação nativa para *Wear OS*, designada *GymTrail Wear*. A aplicação foi escrita em Kotlin e estruturada segundo o modelo recomendado pela Google: uma *Activity* simples para apresentação de dados e um serviço em primeiro plano (*SensorService*) responsável pela recolha contínua das medições.

O serviço acede aos sensores disponíveis no relógio através das classes *SensorManager* e *SensorEventListener*, registando as leituras e enviando atualizações locais para a interface. Durante os testes, a aplicação apresentou corretamente os valores recolhidos, confirmando o funcionamento do módulo de leitura em tempo real. A Figura 5.4 mostra o ecrã do relógio com os dados exibidos pela aplicação durante a execução.

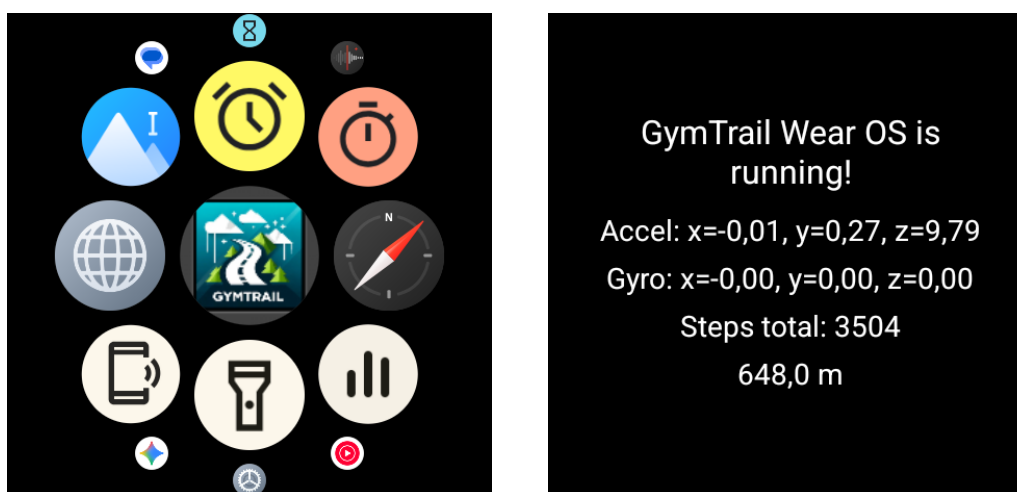


Figura 5.4: Aplicação *GymTrail Wear OS*: (a) ícone da aplicação no menu principal do relógio; (b) ecrã de execução com leitura de sensores locais (*accelerometer*, *gyroscope* e contagem de passos). As capturas correspondem à versão emulada e apresentam formato quadrado típico dos dispositivos *Wear OS*.

Com o módulo de recolha estabilizado, implementou-se o componente *SensorDataSender*, responsável por enviar os dados do relógio para o smartphone através da API oficial de comunicação do *Wear OS* (*MessageClient*, *DataClient* e *NodeClient*). O mecanismo foi corretamente programado para empacotar as leituras em formato JSON e transmiti-las

periodicamente a todos os dispositivos emparelhados.

Durante os testes práticos, no entanto, verificou-se que o processo de emparelhamento entre o *Xiaomi Watch 2 (Wear OS 5)* e a aplicação oficial *Wear OS by Google* não era concluído, ficando bloqueado em aproximadamente 15 % do progresso. A análise dos registos de sistema (*logcat*) confirmou que o relógio não carregava as bibliotecas de comunicação do *Wear OS Data Layer*, mas apenas módulos internos pertencentes à aplicação *Mi Fitness*. Isto indica que o fabricante substituiu o canal de comunicação genérico por uma camada proprietária, impedindo que aplicações externas utilizem diretamente a API de troca de dados.

Em consequência, a aplicação *GymTrail Wear* manteve-se plenamente funcional como leitor local dos sensores, mas sem possibilidade de transmitir as medições para o telemóvel. Apesar desta limitação, o módulo desenvolvido encontra-se tecnicamente preparado para funcionar em qualquer dispositivo *Wear OS* que disponibilize a camada de comunicação padrão, podendo no futuro enviar os dados em tempo real para a aplicação principal *GymTrail* sem necessidade de alterações significativas no código.

O excerto de código 5.4 ilustra a estrutura central do módulo implementado para o relógio *Wear OS*. O serviço `SensorService` executa-se em primeiro plano e recolhe continuamente os valores fornecidos pelos sensores internos do dispositivo. A cada evento de leitura, os dados são registados, emitidos para a interface e preparados em formato JSON para envio ao telemóvel através do componente `SensorDataSender`, que utiliza a API oficial de comunicação do *Wear OS*.

Listing 5.4: Serviço de recolha e envio de dados no módulo Wear OS

```
1
2 // Inicializacao do servico de sensores no relógio Wear OS
3 class SensorService : Service(), SensorEventListener {
4
5     private lateinit var sensorManager: SensorManager
6     private var accel: Sensor? = null
```

```

7     private var gyro: Sensor? = null
8     private var stepCounter: Sensor? = null
9     private var barometer: Sensor? = null
10
11    override fun onCreate() {
12        super.onCreate()
13        sensorManager = getSystemService(SENSOR_SERVICE) as
            SensorManager
14
15        // Registo dos sensores disponiveis
16        accel =
            sensorManager.getDefaultSensor(Sensor.TYPE_ACCELEROMETER)
17        gyro =
            sensorManager.getDefaultSensor(Sensor.TYPE_GYROSCOPE)
18        stepCounter =
            sensorManager.getDefaultSensor(Sensor.TYPE_STEP_COUNTER)
19        barometer =
            sensorManager.getDefaultSensor(Sensor.TYPE_PRESSURE)
20
21        listOfNotNull(accel, gyro, stepCounter,
            barometer).forEach {
22            sensorManager.registerListener(this, it,
                SensorManager.SENSOR_DELAY_NORMAL)
23        }
24    }
25
26    override fun onSensorChanged(event: SensorEvent?) {
27        if (event == null) return
28        val json = JSONObject()
29

```

```

30     when (event.sensor.type) {
31         Sensor.TYPE_ACCELEROMETER -> json.put("accel",
32             event.values.toString())
33         Sensor.TYPE_GYROSCOPE -> json.put("gyro",
34             event.values.toString())
35         Sensor.TYPE_STEP_COUNTER -> json.put("steps",
36             event.values[0].toInt())
37         Sensor.TYPE_PRESSURE -> json.put("altitude",
38             event.values[0])
39     }
40
41     json.put("timestamp", System.currentTimeMillis())
42
43     // Envio periodico dos dados para o telemovel (se
44     // emparelhado)
45     SensorDataSender.startSending(this) { json }
46 }
47
48 override fun onDestroy() {
49     super.onDestroy()
50     sensorManager.unregisterListener(this)
51 }
52 }

```

Este procedimento assegura a recolha contínua e estruturada das leituras dos sensores locais, preparando-as para transmissão através da API `MessageClient`. Embora o emparelhamento com a aplicação *Wear OS by Google* não tenha sido concluído no modelo testado, o módulo encontra-se funcional e pronto a enviar os dados em dispositivos que disponibilizem a camada de comunicação padrão do *Wear OS*.

## 5.4 Cálculos e Otimização Técnica do Sistema

A recolha de dados sensoriais e a sua utilização durante o treino exigem métodos de cálculo consistentes, capazes de transformar leituras GPS e temporais em métricas fiáveis de distância, velocidade e altitude. Esta secção descreve os principais algoritmos e mecanismos de otimização implementados no sistema *GymTrail*, assegurando a coerência temporal entre vídeo, sensores e métricas de desempenho.

### 5.4.1 Cálculo de Distâncias e Velocidades

Os cálculos baseiam-se nas leituras de posição e tempo obtidas pelos sensores internos do dispositivo móvel. A distância entre dois pontos consecutivos é determinada pela fórmula de *Haversine* [44]:

$$d = 2R \cdot \arcsin \left( \sqrt{\sin^2 \left( \frac{\Delta\varphi}{2} \right) + \cos(\varphi_1) \cos(\varphi_2) \sin^2 \left( \frac{\Delta\lambda}{2} \right)} \right), \quad (5.1)$$

onde  $R$  representa o raio médio da Terra ( $\approx 6371$  km),  $\varphi_1, \varphi_2$  são as latitudes em radianos,  $\lambda_1, \lambda_2$  as longitudes, e  $\Delta\varphi = \varphi_2 - \varphi_1$ ,  $\Delta\lambda = \lambda_2 - \lambda_1$ .

A velocidade instantânea é calculada pela razão entre a distância percorrida e o intervalo temporal:

$$v_i = \frac{d_i}{t_i - t_{i-1}}, \quad (5.2)$$

e a velocidade média global é dada por:

$$\bar{v} = \frac{\sum_{i=1}^n d_i}{t_n - t_0}. \quad (5.3)$$

Quando disponível, o desnível positivo acumulado é calculado por:

$$\Delta h_+ = \sum_{i=1}^n \max(0, h_i - h_{i-1}), \quad (5.4)$$

em que  $h_i$  representa a altitude em cada ponto do percurso. Para atenuar oscilações bruscas nas medições de velocidade, é aplicado um filtro de suavização exponencial [45]:

$$v'_i = \alpha v_i + (1 - \alpha)v'_{i-1}, \quad 0 < \alpha < 1, \quad (5.5)$$

tipicamente com  $\alpha = 0.3-0.5$ .

## 5.4.2 Ajuste Dinâmico e Sincronização Multimédia

Após a integração dos sensores e plataformas de recolha de dados, torna-se necessário assegurar a persistência e a sincronização das informações recolhidas durante o treino. O módulo de personalização dos *User Workout Plans* (UWPLANS) implementa o ajuste dinâmico da reprodução de vídeo, assegurando a correspondência temporal entre o cenário visual e as métricas de desempenho. Durante a sessão, o utilizador pode ajustar a taxa de reprodução, aumentando ou reduzindo a intensidade visual, mantendo a coerência com os parâmetros de esforço registados pelos sensores.

Para preservar o realismo, a variação é limitada por intervalos máximos definidos em função do tipo de treino: *andar* até  $\pm 25\%$ , *correr* até  $\pm 15\%$  e *bicicleta* até  $\pm 10\%$ . Quando o tipo de treino não está definido, aplica-se um limite genérico de  $\pm 20\%$ . Alterações fora destes intervalos são bloqueadas automaticamente, evitando desvios entre o vídeo e o tempo físico do plano.

As variações introduzidas afetam apenas a sessão em curso e não modificam o *Workout Plan* original. No final, o sistema oferece a possibilidade de guardar as diferenças como um novo *User Workout Plan* (UWPLAN), preservando o plano base e garantindo a integridade dos registos.

Foi igualmente integrado um modo alternativo de reprodução (*Load Mode*) que permite

utilizar, no *player*, um vídeo diferente do originalmente associado, mantendo a estrutura de métricas e a sincronização com os dados recolhidos. Esta funcionalidade amplia a flexibilidade do sistema e possibilita comparar sessões sob diferentes estímulos visuais, sem comprometer a coerência temporal.

## 5.5 Síntese

A integração de sensores e dispositivos na aplicação *GymTrail* demonstrou a viabilidade de recolher métricas fisiológicas e de treino através de abordagens complementares. A ligação ao *Google Health Connect* revelou-se estável e compatível com as versões recentes do Android, permitindo a leitura validada de dados como passos, calorias, peso e frequência cardíaca de forma segura e centralizada.

Por outro lado, a integração *Bluetooth Low Energy* (BLE) possibilitou a deteção e classificação de dispositivos de treino compatíveis com o protocolo *Fitness Machine Service* (FTMS), embora a análise prática tenha evidenciado limitações decorrentes de protocolos cifrados e de mecanismos de autenticação proprietários implementados por alguns fabricantes.

Em conjunto, as duas abordagens comprovam a robustez da arquitetura proposta: o *Health Connect* assegura interoperabilidade fiável com o ecossistema Android, enquanto o módulo BLE expande o potencial de comunicação direta com equipamentos externos. Esta combinação oferece uma base sólida para futuras integrações automáticas de dispositivos e reforça a visão de uma plataforma de treino híbrida e extensível.

Os resultados obtidos a partir destas integrações, bem como as limitações observadas durante os testes experimentais, são apresentados e discutidos no Capítulo 6.

# Capítulo 6

## Conclusões e Trabalho Futuro

A arquitetura proposta baseia-se num modelo híbrido *edge-cloud*, no qual o processamento local assegura baixa latência e permite a execução das principais funcionalidades diretamente no dispositivo, enquanto a *cloud* garante a persistência, partilha e autenticação dos dados. O sistema encontra-se preparado para funcionamento em modo *offline* parcial, permitindo recolher e tratar informação localmente, com sincronização posterior sempre que a ligação à Internet é restabelecida. A aplicação foi desenvolvida em *React Native*, recorrendo aos serviços *Firebase*, ao módulo nativo *Health Connect* e à comunicação *Bluetooth Low Energy* (BLE), validando a viabilidade de uma solução universal para treino imersivo e personalizável.

### 6.1 Contribuições da Dissertação

Os principais contributos da dissertação podem ser sintetizados em três dimensões complementares:

- **Tecnológica** — desenvolvimento de uma aplicação funcional com integração de sensores e serviços *cloud*, demonstrando comunicação segura entre módulos nativos e a camada *React Native*;
- **Científica** — demonstração de uma arquitetura aberta capaz de combinar dados

biométricos, planos de treino e conteúdos multimédia, consolidada através de publicações indexadas [21], [22];

- **Aplicacional** — criação de um modelo reproduzível de treino digital personalizável, que reforça a motivação dos utilizadores e evidencia o papel das tecnologias abertas na democratização do acesso ao *smart fitness*.

## 6.2 Trabalhos Futuros

A evolução da plataforma *GymTrail* prevê várias linhas de continuidade técnica e científica, orientadas para o reforço da integração de sensores e a otimização do desempenho da aplicação. As principais direções de desenvolvimento são as seguintes:

1. **Integração completa com dispositivos *Wear OS*** — permitir a recolha contínua de métricas fisiológicas (frequência cardíaca, passos, velocidade e cadência) diretamente no relógio, assegurando sincronização periódica com a aplicação móvel. Pretende-se expandir o módulo atual de monitorização para suportar recolha e envio de dados em tempo real, potenciando o ecossistema *edge-cloud*.
2. **Implementação de mecanismos de recomendação baseados em inteligência artificial generativa** — incorporar modelos de linguagem e técnicas de *machine learning* capazes de ajustar automaticamente planos de treino, tendo em conta o histórico de desempenho, o perfil fisiológico e os objetivos definidos pelo utilizador. Esta vertente explorará a geração adaptativa de rotinas e a explicabilidade das recomendações.
3. **Expansão do módulo BLE para suporte completo ao protocolo FTMS** — incluir a escrita e leitura de comandos relativos a resistência, inclinação e potência, permitindo comunicação bidirecional com bicicletas e passadeiras compatíveis. Este desenvolvimento assegurará uma experiência verdadeiramente interativa, em que o equipamento reage em tempo real aos parâmetros do plano de treino.

4. **Validação empírica com utilizadores reais** — conduzir estudos de utilização controlados para avaliar a motivação, adesão, conforto e precisão das medições biométricas. Os resultados permitirão quantificar o impacto da aplicação em termos de envolvimento, eficácia do treino e melhoria da experiência imersiva.
5. **Adaptação multiplataforma** — estender a aplicação a *iOS* e à Web, mantendo a arquitetura híbrida *edge-cloud* e assegurando compatibilidade com a base de dados e os serviços de autenticação existentes. Esta expansão permitirá aumentar a acessibilidade e o alcance da solução.
6. **Implementação de um sistema de cache local baseado no algoritmo *Least Recently Used* (LRU)** — manter no dispositivo os últimos planos de treino executados, incluindo ficheiros GPX, metadados e vídeos associados. Esta abordagem permitirá reduzir o número de sincronizações com a *cloud*, melhorar o desempenho em modo offline e assegurar a continuidade da experiência mesmo em contextos de conectividade limitada. O LRU demonstrou eficácia comprovada na literatura recente [23], [24], sendo considerado uma estratégia leve, previsível e eficiente para sistemas móveis e ambientes *edge-cloud*.
7. **Exploração de técnicas adaptativas de cache e predição de utilização** — em continuidade com o ponto anterior, será estudada a aplicação de algoritmos preditivos que combinem políticas LRU com aprendizagem automática, permitindo ajustar dinamicamente o tamanho e a prioridade da cache em função dos hábitos do utilizador e das condições de rede.
8. **Exploração de mecanismos avançados de ajuste multimédia** — serão avaliadas abordagens que permitam aumentar as variações de velocidade de reprodução para além dos limites atuais, mantendo a coerência visual e fisiológica. Pretende-se analisar a viabilidade de modelos leves executados localmente no dispositivo e, em alternativa, de processamento complementar na *cloud*, capazes de otimizar a interpolação de frames e a estabilidade sonora sem comprometer o desempenho nem a

experiência do utilizador.

Estas linhas de desenvolvimento visam consolidar a *GymTrail* como uma plataforma experimental robusta, preparada para demonstrar o potencial da integração entre sensores, inteligência artificial e arquiteturas *edge-cloud*, contribuindo para a investigação em computação móvel e experiências imersivas de treino físico.

### 6.3 Produção Científica Associada

O desenvolvimento desta dissertação foi acompanhado por uma linha contínua de investigação aplicada, resultando em várias publicações apresentadas em conferências internacionais indexadas na *Scopus*. Estas contribuições documentam as fases conceptuais, arquiteturais e experimentais que sustentam o desenvolvimento da *GymTrail*.

- **Pereira, H., & Matos, P.** (2025). *Architecture to Recreate Immersive Scenarios for Practicing Sports in Gyms*. Springer. [21] **Contribuição:** apresentou a definição conceptual da plataforma *GymTrail*, incluindo os subsistemas *Content Maker* e *Activity User*, e a integração inicial de sensores BLE e conteúdos multimédia. Corresponde à fase de **validação arquitetural** da aplicação.
- **Pereira, H., & Matos, P.** (2024). *Recreate Immersive Scenarios for Practicing Sports in Gyms – User Application*. IEEE. [22] **Contribuição:** descreveu a implementação prática da aplicação *GymTrail*, validando experimentalmente a arquitetura através da integração com BLE, *Health Connect* e *Firestore*. Representa a **validação funcional** da plataforma.
- **Pereira, H., Matos, P., & Teixeira, M.** (2025). *Food Inventory and Expiry Management: A Four-Layer Cloud-Edge Architecture*. IEEE. [24] **Contribuição:** apresentou uma versão otimizada da arquitetura *edge-cloud*, introduzindo mecanismos de **cache** LRU e sincronização híbrida, com validação experimental em dispositivos móveis. Os princípios técnicos demonstrados neste trabalho constituem **fundamentação relevante para o desenvolvimento futuro da *GymTrail***,

nomeadamente na implementação de mecanismos de cache local e de gestão eficiente de sincronização.

Para além destes trabalhos diretamente relacionados com a presente dissertação, foram ainda publicados outros dois artigos no âmbito da mesma linha de investigação, contribuindo para a consolidação da produção científica realizada ao longo do período de desenvolvimento.

## 6.4 Considerações Finais

O trabalho desenvolvido permitiu atingir os objetivos definidos na proposta inicial, comprovando a viabilidade técnica e científica de uma arquitetura digital aberta para treino *indoor*. A aplicação **GymTrail** constitui uma prova de conceito sólida, demonstrando que é possível integrar sensores, conteúdos multimédia e serviços *cloud* num ambiente unificado, seguro e personalizável.

A dissertação contribui para o avanço da investigação em *smart fitness*, computação *edge-cloud* e interoperabilidade de dados biométricos, fornecendo uma base para desenvolvimentos futuros orientados à saúde digital e à promoção sustentada da atividade física.

# Bibliografia

- [1] EuropeActive e Deloitte, «European Health & Fitness Market Report 2024,» EuropeActive, 2024, Data on membership growth and industry revenues.
- [2] World Health Organization, *WHO Guidelines on Physical Activity and Sedentary Behaviour*. Geneva: World Health Organization, 2020, ISBN: 978-92-4-001512-8.
- [3] Eurostat, *Physical activity statistics in the European Union*, <https://ec.europa.eu/eurostat/>, Accessed: 10-Mar-2024, 2023.
- [4] Instituto Nacional de Estatística, *Inquérito Nacional de Saúde 2022*, <https://www.ine.pt/>, Accessed: 18-Feb-2024, 2022.
- [5] World Health Organization, *Physical inactivity and economic cost in Europe*, <https://www.who.int/>, Accessed: 22-Jan-2024, 2022.
- [6] OECD, *Health at a Glance: Europe 2021*, <https://www.oecd.org/health/>, Accessed: 15-Feb-2024, 2021.
- [7] Eurostat, *Road accidents statistics in the European Union*, <https://ec.europa.eu/eurostat/>, Accessed: 05-Mar-2024, 2022.
- [8] Rouvy, *Rouvy Official Website*, <https://rouvy.com/>, Accessed: 20-Feb-2024, 2024.
- [9] Peloton Interactive, Inc., *Peloton Official Website*, <https://www.onepeloton.com/>, Accessed: 25-Feb-2024, 2024.
- [10] Bluetooth SIG, *Bluetooth Low Energy (BLE)*, <https://www.bluetooth.com/learn-about-bluetooth/tech-overview/low-energy/>, Accessed: 12-Mar-2024, 2023.

- [11] Bluetooth SIG, *Fitness Machine Service Specification v1.0*, <https://www.bluetooth.com/specifications/specs/fitness-machine-service-1-0/>, Document ID 000034, Bluetooth Special Interest Group, 2018.
- [12] European Commission, *Special Eurobarometer 525: Sport and Physical Activity*, <https://europa.eu/eurobarometer/>, Accessed: 12-Mar-2024, 2022.
- [13] T. Hoang et al., «A Systematic Review of Immersive Technologies for Physical Training in Fitness and Sports,» em *Proceedings of the 2023 IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality (ISMAR)*, IEEE, 2023, pp. 611–621. DOI: 10.1109/ISMAR59233.2023.00076.
- [14] A. M. da Silva, G. S. G. Albuquerque e F. P. A. de Medeiros, «A Review on Augmented Reality applied to Sports,» em *Proceedings of the 2021 16th Iberian Conference on Information Systems and Technologies (CISTI)*, IEEE, 2021, pp. 1–6. DOI: 10.23919/CISTI52073.2021.9476570.
- [15] S. Bhatia, M. Sharma, S. Pandey, R. Tripathi, G. Sunil e M. Sahu, «Technical Intervention: Augmented and Virtual Reality in Sports,» em *Proceedings of the 2024 Parul International Conference on Engineering and Technology (PICET)*, IEEE, 2024. DOI: 10.1109/PICET60765.2024.10716152.
- [16] A. Farrokhi, R. Farahbakhsh, J. Rezazadeh e R. Minerva, «Application of Internet of Things and Artificial Intelligence for Smart Fitness: A Survey,» *Computer Networks*, vol. 189, p. 107859, 2021. DOI: 10.1016/j.comnet.2021.107859.
- [17] G. K. Chauhan, P. Vavken e C. Jacob, «Mobile Apps and Wearable Devices for Cardiovascular Health: Narrative Review,» *JMIR mHealth and uHealth*, vol. 13, e65782, 2025. DOI: 10.2196/65782.
- [18] L. Puce, N. L. Bragazzi, A. Currà e C. Trompetto, «Harnessing Generative Artificial Intelligence for Exercise and Training Prescription: Applications and Implications in Sports and Physical Activity—A Systematic Literature Review,» *Applied Sciences*, vol. 15, n.º 7, p. 3497, 2025. DOI: 10.3390/app15073497.

- [19] S. Toyonaga e K. Oyibo, «Fitness-Based Recommender Systems for Reducing Sedentary Behaviour,» em *Communications in Computer and Information Science*, Springer Nature Switzerland, 2025. DOI: 10.1007/978-3-031-94150-4\_39.
- [20] H. Cao, «Application of Smart Wearable Fitness Equipment and Smart Health Management Based on the Improved Algorithm,» *Computational Intelligence and Neuroscience*, p. 1654460, 2022. DOI: 10.1155/2022/1654460.
- [21] H. Pereira e P. Matos, «Architecture to Recreate Immersive Scenarios for Practicing Sports in Gyms,» em *Lecture Notes in Networks and Systems*, Springer, 2025. DOI: 10.1007/978-3-031-88653-9\_2.
- [22] H. Pereira e P. Matos, «Recreate Immersive Scenarios for Practicing Sports in Gyms – User Application,» em *International Conference on Engineering and Emerging Technologies (ICEET)*, IEEE, 2024. DOI: 10.1109/ICEET65156.2024.10913645.
- [23] J. Liu, Y. Chen e H. Ding, «CacheSim: A cache simulation framework for evaluating caching algorithms on resource-constrained edge devices,» *SoftwareX*, vol. 29, p. 102018, 2025. DOI: 10.1016/j.softx.2024.102018.
- [24] H. Pereira, P. Matos e M. Teixeira, «Food Inventory and Expiry Management: A Four-Layer Cloud-Edge Architecture,» em *Proc. IEEE Int. Conf. on Information Systems and Security (ICISS)*, 2025. DOI: 10.1109/ICISS.2025.xxxxxx.
- [25] Meta, *React Native Documentation*, <https://reactnative.dev/>, Accessed: 10-Jan-2025, 2024.
- [26] Google, *Firebase Documentation*, <https://firebase.google.com/>, Accessed: 10-Sep-2025, 2024.
- [27] Google, *Health Connect API*, <https://developer.android.com/health-connect>, Accessed: 15-Jan-2025, 2024.
- [28] React Native Community, *react-native-geolocation-service*, <https://github.com/Agontuk/react-native-geolocation-service>, Accessed: 11-Nov-2025, 2024.

- [29] React Native Community, *react-native-fs: File System Access for React Native*, <https://github.com/itinance/react-native-fs>, Accessed: 11-Nov-2025, 2024.
- [30] Topografix, *GPX 1.1 Schema Documentation*, <https://www.topografix.com/GPX/1/1/>, Accessed: 11 Nov. 2025, 2004. URL: <https://www.topografix.com/GPX/1/1/>.
- [31] Leaflet Contributors, *Leaflet: An Open-Source JavaScript Library for Interactive Maps*, <https://leafletjs.com/>, Accessed: 11-Nov-2025, 2024.
- [32] OpenStreetMap Contributors, *OpenStreetMap: Collaborative Mapping Project*, <https://www.openstreetmap.org/>, Accessed: 11-Nov-2025, 2024.
- [33] mrousavy, *react-native-vision-camera: Powerful Camera Library for React Native*, <https://github.com/mrousavy/react-native-vision-camera>, Accessed: 11-Nov-2025, 2024.
- [34] React Native Community, *react-native-image-picker: Select and Use Images in React Native Apps*, <https://github.com/react-native-image-picker/react-native-image-picker>, Accessed: 11-Nov-2025, 2024.
- [35] React Native Community, *react-native-linear-gradient*, <https://github.com/react-native-linear-gradient/react-native-linear-gradient>, Accessed: 11-Nov-2025, 2024.
- [36] oblador, *react-native-vector-icons*, <https://github.com/oblador/react-native-vector-icons>, Accessed: 11-Nov-2025, 2024.
- [37] indiespirit, *react-native-chart-kit*, <https://github.com/indiespirit/react-native-chart-kit>, Accessed: 11-Nov-2025, 2024.
- [38] i18next Community, *i18next Documentation*, <https://www.i18next.com/>, Accessed: 02-Mar-2025, 2024.
- [39] React Native Community, *@react-native-clipboard/clipboard*, <https://github.com/react-native-clipboard/clipboard>, Accessed: 11-Nov-2025, 2024.

- [40] zoontek, *react-native-permissions*, <https://github.com/zoontek/react-native-permissions>, Accessed: 11-Nov-2025, 2024.
- [41] react-native-device-info, *react-native-device-info*, <https://github.com/react-native-device-info/react-native-device-info>, Accessed: 11-Nov-2025, 2024.
- [42] Polidea, *react-native-ble-plx: Bluetooth Low Energy Library for React Native*, <https://github.com/dotintent/react-native-ble-plx>, Accessed: 11-Nov-2025, 2024.
- [43] Bluetooth SIG. «Bluetooth Assigned Numbers.» Accessed October 2025. URL: <https://www.bluetooth.com/specifications/assigned-numbers/>.
- [44] R. W. Sinnott, «Virtues of the Haversine,» *Sky and Telescope*, vol. 68, n.º 2, p. 159, 1984.
- [45] R. G. Brown e P. Y. C. Hwang, *Introduction to Random Signals and Applied Kalman Filtering*, 4<sup>a</sup> ed. Wiley, 2012.

# Apêndice A

## Dados Técnicos Complementares

### A.1 Principais UUIDs do Protocolo FTMS

A Tabela A.1 apresenta um resumo das principais *characteristics* do serviço FTMS (*Fitness Machine Service*), com base na especificação oficial da *Bluetooth SIG* [11]. O documento completo (*Fitness Machine Service Specification v1.0*, código 000034) encontra-se disponível para consulta no portal da organização, mas não pode ser reproduzido integralmente por motivos de licenciamento.

Tabela A.1: Resumo das *characteristics* do FTMS (Bluetooth SIG, 2018)

UUID	Nome	Página da Especificação
0x1826	Fitness Machine Service	9
0x2ACC	Fitness Machine Feature	13
0x2ACD	Treadmill Data	17
0x2ACE	Cross Trainer Data	22
0x2AD2	Indoor Bike Data	27
0x2AD9	Fitness Machine Control Point	33
0x2ADA	Fitness Machine Status	41

*Nota:* Apenas são incluídas as referências públicas necessárias à compreensão do protocolo FTMS. O documento integral encontra-se disponível para consulta no portal da *Bluetooth*

*SIG* (<https://www.bluetooth.com/specifications/specs/fitness-machine-service-1-0/>).