



UNIVERSIDADE DO MINHO
MESTRADO EM ENGENHARIA INFORMÁTICA

Sensorização e Ambiente
Grupo 11

Duarte Parente (PG53791) Francisca Lemos (PG52693)
Santiago Moreira (PG54225)

Ano Letivo 2023/2024

Índice

1	Introdução	3
2	Definição do Problema	4
2.1	Contextualização e Motivação	4
2.2	Sistema Proposto	4
3	Modelo de Negócio	5
4	Definição da Solução	6
4.1	Monitorização de Atividade	6
4.1.1	Recolha de Dados	6
4.1.2	Visualização e Análise dos Dados	8
4.1.3	Algoritmo de deteção de quedas	11
4.2	Aplicação Final	12
4.2.1	Arquitetura da Solução	12
4.2.2	Funcionalidades Implementadas	13
4.2.3	Recolha e armazenamento de dados	14
5	Análise de Resultados	16
5.1	Interfaces do Sistema	16
5.2	Aspetos Positivos	19
5.3	Limitações e Trabalho Futuro	20
6	Conclusão	21

Capítulo 1

Introdução

O presente relatório visa apresentar o projeto desenvolvido no âmbito da Unidade Curricular de **Sensorização e Ambiente**, onde a principal motivação foi implementar um sistema de sensorização capaz de obter dados e gerar informação útil de acordo com o contexto do ambiente onde está inserido, focando no domínio emergente da Sensorização Móvel.

Ao longo do documento irá ser detalhada a definição do problema, seguida da apresentação do modelo de negócio proposto para o sistema desenvolvido. De seguida será definida a solução elaborada com a elucidação de todo o processo de recolha de dados, e respetiva visualização e análise. Será justificada a estratégia implementada para o algoritmo de deteção de uma queda e de que forma este foi introduzido na aplicação de monitorização final. A arquitetura da solução, assim como toda a informação relativa aos sensores utilizados e respetivos colecionadores será também evidenciada. Para terminar, serão analisados os resultados obtidos no final da implementação, com a indicação dos aspetos positivos e limitações da solução e consequente trabalho futuro da solução apresentada.

Capítulo 2

Definição do Problema

2.1 Contextualização e Motivação

Nos últimos anos, o interesse em tecnologias de detecção de quedas tem crescido significativamente, impulsionado pelo envelhecimento da população e pela necessidade de garantir a sua segurança e bem-estar, especialmente daqueles que vivem de forma isolada e independente. As quedas apresentam-se como uma das principais causas de lesões graves ou até mesmo morte entre os idosos, tornando-se um problema de saúde pública global. Para além disso, estas poderão estar associadas a inúmeros fatores que podem exponenciar o seu risco como o declínio físico e funcional, condições médicas, características e condições do ambiente ao redor ou até mesmo eventuais eventos acidentais, como tropeções.

Dessa forma, perante o contexto evidenciado torna-se clara a relevância da implementação de um sistema eficaz de detecção de quedas de forma a mitigar os seus riscos associados, proporcionando uma rápida assistência em caso de emergência, para além da sensação de segurança associada ao estado de monitorização contínuo.

2.2 Sistema Proposto

Embora existam várias abordagens para o sistema proposto, como sensores de pressão, câmaras de vigilância e dispositivos vestíveis, o uso generalizado de *telemóveis* associada à disponibilidade dos seus sensores embutidos revelaram-se um fator decisivo para a escolha do sistema a desenvolver.

Sendo assim, a solução proposta passa pelo desenvolvimento de uma aplicação **Android** para detecção de quedas. O sistema irá monitorizar a atividade do utilizador emitindo uma janela de alerta na eventual detecção de uma possível queda. Ao alerta emitido encontra-se associado um temporizador de 1 minuto, servindo de controlo para a janela temporal de confirmação da queda.

Partindo do princípio que o utilizador envolvido no acidente não estará em condições de interação com o sistema, o principal objetivo deste alarme passa por atrair a atenção ao redor do mesmo, devendo também sobrepor-se ao ecrã bloqueado.

Num cenário de confirmação da queda, os contactos de emergência previamente indicados pelo utilizador serão informados da ocorrência, e respetiva localização, de forma a poderem agir em conformidade.

Capítulo 3

Modelo de Negócio

Quanto ao modelo de negócio do nosso projeto, acreditamos que seja possível integrá-lo num contexto real. Propomos um modelo de negócio centrado na população idosa, um grupo demográfico mais vulnerável a acidentes domésticos, como quedas, e mais propenso a um quotidiano mais isolado. A deteção de quedas a partir do próprio telemóvel oferece uma proteção e tranquilidade tanto para os idosos como para os seus familiares e entes queridos.

De forma a alcançar com eficácia o mercado-alvo, propomos o estabelecimento de parcerias com fabricantes de relógios, tendo em vista a expansão do sistema desenvolvido, com o objetivo de ser incorporado neste contexto. Estes dispositivos são cada vez mais utilizados pois oferecem uma variedade de recursos e funcionalidades adaptadas às necessidades das pessoas mais velhas. O nosso produto parece-nos útil e necessário para aprimorar ainda mais esses dispositivos, tornando as pessoas mais seguras e independentes.

Com isto, acreditamos que esta abordagem demonstra a viabilidade do projeto e cria um impacto positivo na vida das pessoas que mais necessitam de uma monitorização da sua segurança.

Capítulo 4

Definição da Solução

Previamente à implementação da aplicação final, seria necessário definir a abordagem relativa a um dos principais componentes da solução proposta, isto é, como seria realizada a deteção de uma queda. Aproveitando a presença de um acelerômetro nos telemóveis, a estratégia escolhida passaria então pela análise dos valores obtidos por este sensor.

Inicialmente, a utilização de inteligência artificial, através da criação de um modelo de *Machine Learning* para a classificação de atividades foi a solução escolhida e idealizada. No entanto, devido a limitações temporais relativas à data de entrega do projeto, tornou-se claro que não seria possível a criação de um modelo com a qualidade necessária para justificar a sua utilização. Sendo assim, a estratégia escolhida passou pela deteção de um padrão relativo a quedas, delineado através da visualização e análise dos dados adquiridos.

4.1 Monitorização de Atividade

No nosso dia-a-dia realizamos diversos movimentos diferentes com consequentes movimentos corporais diferentes e respetivas diferenças de aceleração. Sendo assim, de forma a estudar a variação da aceleração proporcionada pelas diferentes atividades que realizamos diariamente foi utilizado o acelerômetro do telemóvel para a deteção destes valores.

De forma a reduzir o número de falsos positivos e de aliviar a complexidade da aplicação relativa à monitorização, uma vez que esta necessita de ser eficiente, e atendendo à colocação generalizada do telemóvel no bolso das calças ou numa bolsa, a monitorização só deverá estar ativa nessas mesmas situações. Para o efeito utiliza-se o sensor de proximidade também presente no telemóvel.

4.1.1 Recolha de Dados

Para a recolha de dados para análise foram definidas 4 atividades para alvo de recolha: sentar, deitar, caminhar e cair. A justificação para esta seleção recai na análise de potenciais atividades realizadas pelo público alvo do sistema (população idosa), que poderiam produzir valores de aceleração semelhantes a uma queda.

De forma a possibilitar esta recolha, e no sentido de conferir um maior grau de simplicidade ao processo foi desenvolvida a aplicação **Motion Track**. A página inicial da aplicação exibe uma lista das diversas atividades disponíveis (Figura 1), permitindo que os a fácil identificação e seleção da atividade para recolha (Figura 2). Os dados recolhidos pelo acelerômetro são guardados em tempo real na plataforma *Firebase* para posterior análise.

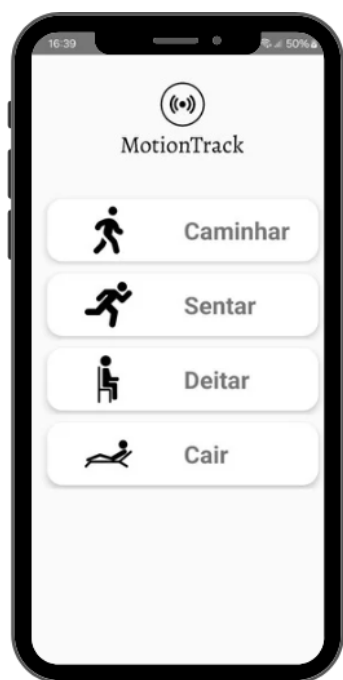


Figura 1: Seleção de Atividade

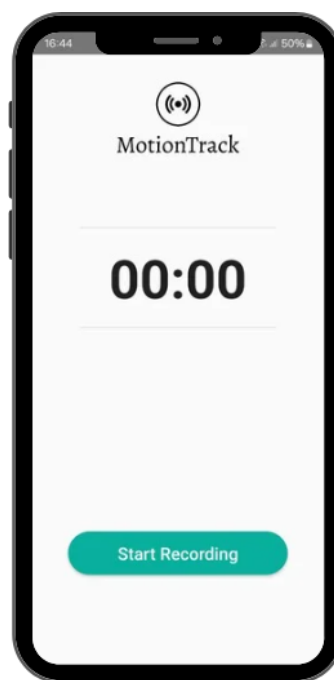


Figura 2: Início de Recolha

Para o processo de recolha, de forma a procurar um maior grau de diversidade e confiança nos dados adquiridos, foram utilizados diversos voluntários de diferentes faixas etárias, que se disponibilizaram para a realização das medições. Para o efeito foram testados diversos tipos de locais e superfícies, com a variação de movimentos na concretização das atividades.

Como a aplicação é usada apenas para recolha de dados, não há necessidade de estar em gravação na totalidade da sua execução. Dessa forma o controlo da medição é efetuado unicamente pelo botão representado na 2. Nesse sentido, para além obrigação de não haver impedimento no acesso ao ecrã do telemóvel de forma a não prejudicar o controlo da duração da recolha mas também a tentativa de aproximação à situação idealizada para o uso do sistema final procurou-se fixar o telemóvel à perna, simulando a posição do bolso das calças conforme evidenciado nas Figuras 3 e 4.

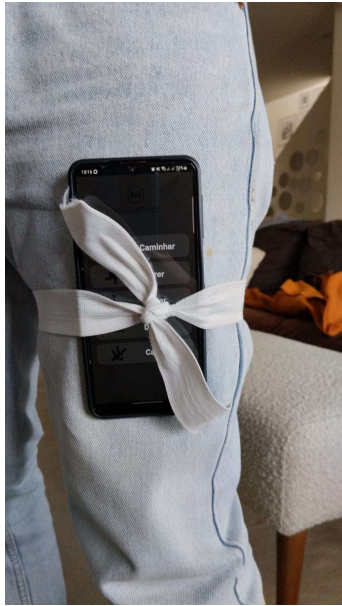


Figura 3: Recolha de Dados



Figura 4: Recolha de Dados

Apesar da boa vontade e disponibilidade dos voluntários, o processo de recolha de dados revelou-se bastante desafiador, especialmente para a simulação de quedas. Sendo assim, após a limpeza de registos inválidos, o *dataset* final conta com **72** registos:

- Cair: 22 registos
- Caminhar: 7 registos
- Deitar: 14 registos
- Sentar: 29 registos

4.1.2 Visualização e Análise dos Dados

Para visualização dos dados o grupo decidiu utilizar a *framework* Python **Dash**. Esta *framework* permite a criação de aplicações web interativas. A aplicação desenvolvida apresenta dois gráficos: o gráfico relativo à variação da aceleração ao longo dos eixos consoante o *timestamp* da medição; e o gráfico relativo à variação da magnitude da velocidade ao longo do período da recolha. A magnitude de um vetor representa o seu tamanho e é calculada pela fórmula $\sqrt{x^2 + y^2 + z^2}$ onde x,y,z são os valores da aceleração nos respetivos eixos. É possível selecionar a atividade que se deseja visualizar, escolher o dia e, dentro desse dia, selecionar a atividade específica, i.e, o id da mesma (Figura 5). Esta abordagem revelou-se bastante útil para uma maior eficácia e simplicidade na visualização do registo pretendido.

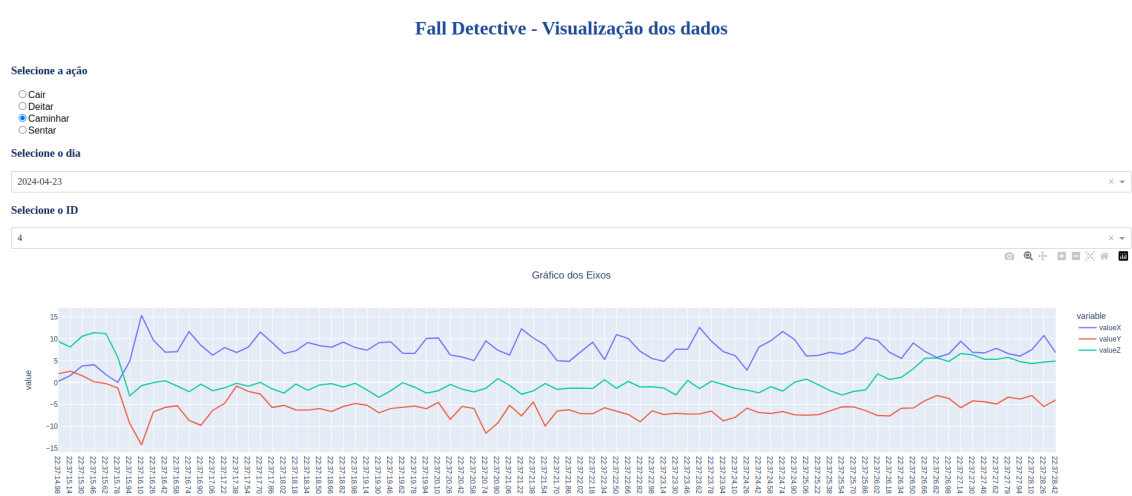


Figura 5: Aplicação web para visualização de dados

Caminhar

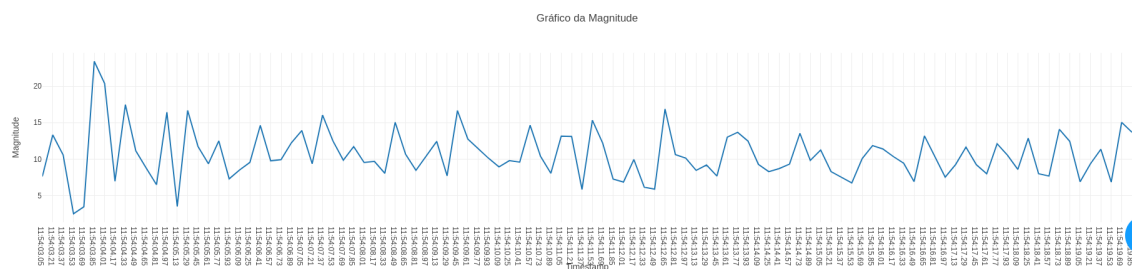


Figura 6: Caminhar

A análise relativa à atividade de caminhar, tal como o esperado, apresenta uma espécie de padrão que se repete ao longo do tempo, relativo aos passos dados. O aumento da aceleração representa o contacto do pé com o chão, enquanto que a sua diminuição diz respeito ao movimento de subida do pé.

Deitar

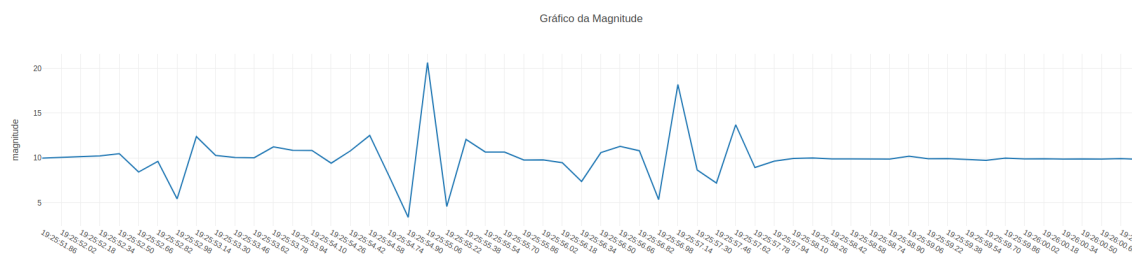


Figura 7: Deitar

A partir da análise relativa à atividade de deitar, é possível observar um pico de maior intensidade, correspondendo ao primeiro impacto do corpo com a superfície. Os restantes picos de menor intensidade até ao período de estabilização representam os movimentos do corpo, como ajeitar as pernas ou braços, até à imobilização total.

Sentar

Relativamente à atividade de sentar, foram realizados dois tipos de medição, tendo em consideração a superfície de contacto do corpo. Sendo assim, apresentam-se dois gráficos, relativos à medição de uma pessoa de sentar numa superfície rígida e macia.

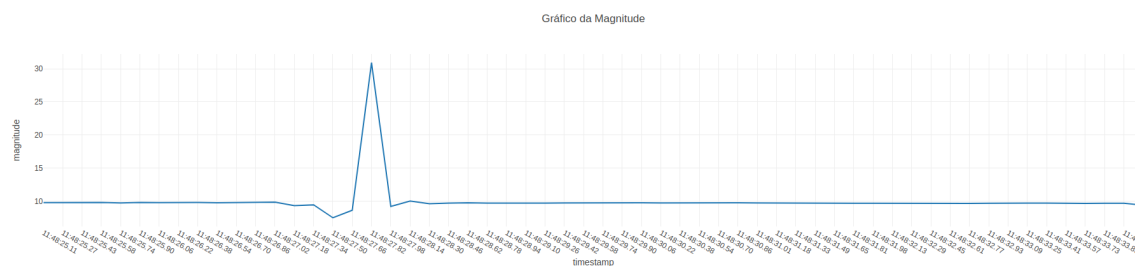


Figura 8: Sentar numa superfície dura

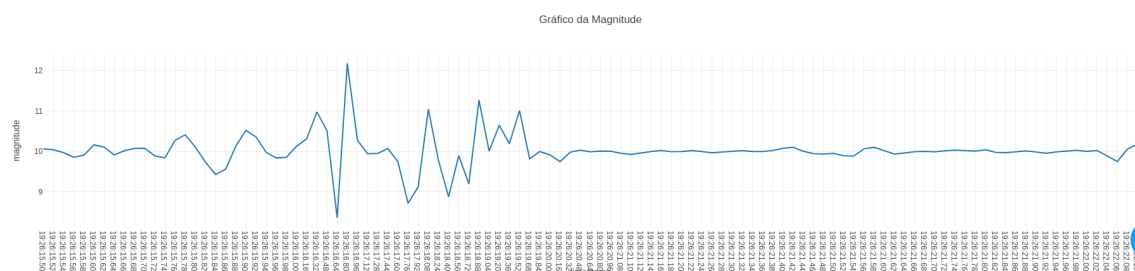


Figura 9: Sentar numa superfície mole

Enquanto que as características de uma superfície rígida, provocam os resultados observados na Figura 8, com uma ligeira diminuição da aceleração seguida de um pico de alta intensidade até à imobilização, a variação da aceleração numa superfície macia, provoca o efeito esperado de uma espécie de "mola".

Cair

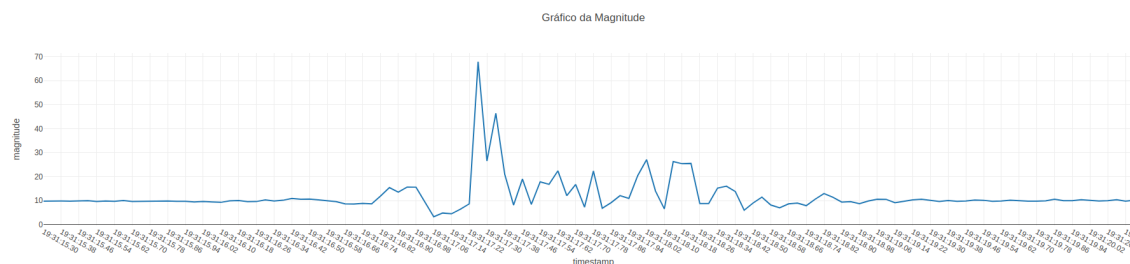


Figura 10: Cair

Para terminar, a análise relativa à recolha de quedas mostra um possível padrão de uma situação deste tipo. A queda é então representada normalmente por um pico de elevada intensidade, seguido de outros picos que poderão representar diferentes partes do corpo a embater no chão. Salienta-se que os dados recolhidos representam quedas simuladas, podendo apresentar variações para uma queda real.

4.1.3 Algoritmo de deteção de quedas

Como já referido, o grupo tinha idealizado implementar um modelo de *Machine Learning* para a classificação de atividades mas não se mostrou uma solução viável. Com isto, foi necessário encontrar um padrão que identificasse exclusivamente quedas reais, evitando qualquer confusão com outras atividades. Após uma cuidadosa análise dos dados, decidiu-se utilizar a seguinte estratégia:

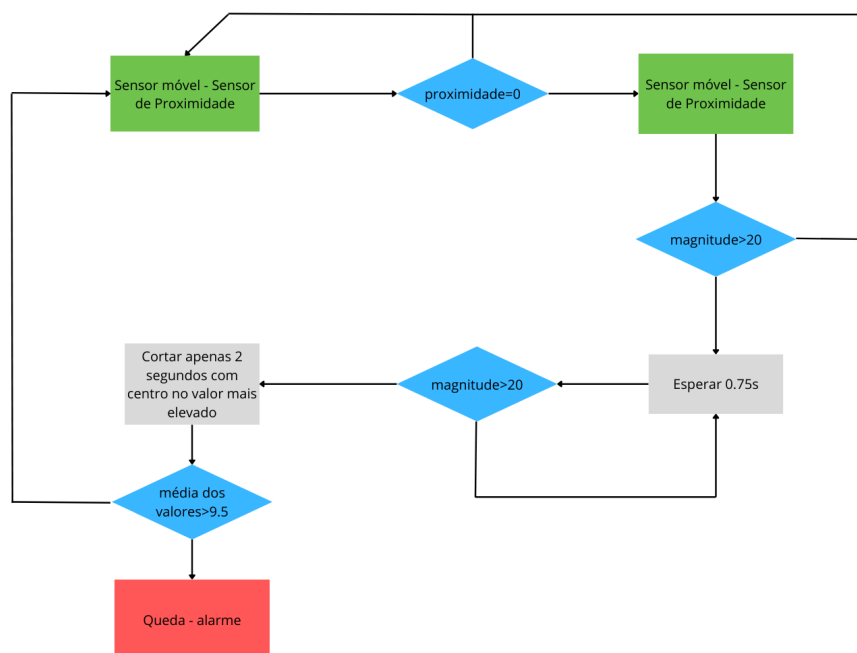


Figura 11: Diagrama para o algoritmo

Inicialmente, procuramos por uma aceleração maior que 20, a qual é calculada através da magnitude, conforme explicado anteriormente. Caso o valor seja maior, o algoritmo espera 0.75 segundos. Se os valores entre 0.75s até 2s apresentarem uma aceleração superior a 20, então o processo anterior é repetido. Se nada acontecer, o sinal é cortado com centro no valor máximo registado e, posteriormente, é calculada a média das magnitudes. Se esta média exceder 9.5, é considerada uma queda e o sistema emite um alarme ao utilizador. Esta estratégia foi seleccionada após uma análise dos dados e uma visualização detalhada dos gráficos, revelando as diferenças notáveis entre as diversas atividades realizadas, especialmente evidenciadas nos valores de magnitude.

Testando o algoritmo desenvolvido no *dataset* das atividades recolhidas observa-se o seguinte resultado na classificação do registo como uma queda:

- Cair: 21 em 22 registos
- Caminhar: 6 em 7 registos
- Deitar: 2 em 14 registos
- Sentar: 4 em 29 registos

Tal como seria de esperar, a implementação desta estratégia resultaria num compromisso da precisão da classificação, apresentando então uma *accuracy* de **81.9%**, com a maior percentagem de falsos positivos a acontecer na deteção da atividade de caminhar.

4.2 Aplicação Final

O sistema de monitorização final passaria então pelo desenvolvimento de uma aplicação *Android*, propondo-se então a seguinte identidade:



Figura 12: Logotipo da Aplicação

4.2.1 Arquitetura da Solução

Devido à grande quantidade de dados provenientes da recolha de dados realizada pela aplicação *Motion Track*, estes dados foram armazenados no Firebase para posterior análise. O Firebase também é utilizado para registo e autenticação de utilizadores e armazenamento de dados da aplicação principal. Para visualização de dados é utilizada a framework Dash, como já foi explicado em cima. De seguida apresenta-se a arquitetura do sistema proposta.



Figura 13: Arquitetura do Sistema

4.2.2 Funcionalidades Implementadas

A aplicação apresenta como funcionalidade principal a monitorização da atividade do utilizador na procura de deteção de uma eventual queda.

- **Autenticação e Configurações:** permite ao utilizador criar uma conta, fazer login, recuperar a password (caso tenha conta) e alterar a mesma. O utilizador pode editar/visualizar os dados do perfil (como o nome, email, género e data de nascimento). Além disso, quando a conta é criada é obrigatório adicionar contactos de emergência. Após a conta estar criada, é possível alterar esses contactos ou adicionar outros.
- A aplicação disponibiliza um histórico de deteção de quedas para consulta, com a data e hora da mesma, coordenadas e a indicação da confirmação de se ter tratado de uma queda real.
- O serviço de monitorização de atividade é controlado através de um botão de *play* apresentado na página principal da aplicação. Uma vez ativo, este serviço executa permanentemente em segundo plano aplicando o algoritmo detalhado previamente.
- Numa eventual deteção de queda, é ativada uma janela de alarme, capaz de sobreposição ao ecrã bloqueado do telemóvel. Uma vez que este alarme representa a intenção de chamar as atenções para o ocorrido, é acompanhado de uma vibração constante e um alerta sonoro no volume máximo.
- O alarme apresenta um temporizador de 1 minuto, sendo esta definida a janela temporal para uma eventual confirmação ou negação de uma situação de emergência. Num cenário de confirmação ou ausência de resposta, é automaticamente enviada uma mensagem de aviso aos contactos de emergência do utilizador. Esta mensagem para além de alertar para a ocorrência, contém também a localização atual do utilizador.

4.2.3 Recolha e armazenamento de dados

Sensores utilizados

Para a realização deste trabalho foram utilizados dois sensores do telemóvel:

- **Acelerômetro:** É através deste sensor que se consegue detetar as quedas. Este sensor mede a aceleração do dispositivo em três eixos diferentes: x, y e z. Quando uma queda ocorre, há uma mudança abrupta na aceleração do dispositivo, que pode ser detetada pelo acelerômetro.
- **Sensor de proximidade:** Este sensor possibilita que a aplicação apenas monitorize quedas somente quando o telemóvel estiver guardado numa bolsa ou no bolso de calças/casaco. Isto ajuda a simplificar a aplicação e evita a deteção de quedas falsas, como aquelas causadas apenas pela queda do próprio telemóvel.

Colecionadores implementados

Os dados recolhidos pelas duas aplicações são armazenados de forma semelhante, recorrendo a uma *Realtime Database* disponibilizada pelo *Firebase*. Em relação à recolha de dados relativos à monitorização de atividades a base de dados encontra-se organizada por coleções relativas a cada uma das atividades definidas. Dentro de cada coleção a organização das recolhas é efetuada através do *timestamp* de início da mesma. Para a aplicação principal a base de dados são também usadas duas coleções, a primeira relativa às informações relativas a um utilizador, como os seus dados pessoais e contactos de emergência, e a segunda relativa ao histórico de quedas detetadas.



Figura 14: Estrutura da base de dados utilizada para recolha de dados



Figura 15: Estrutura da base de dados utilizada pela aplicação principal

Ambiente

Tal como referido anteriormente o ambiente de recolha de dados através da aplicação **Motion Track** foi bastante diversificado, com a criação de vários ambientes de recolha controlados e pensados de forma a explorar o maior número de características e variações produzidas pela realização das atividades definidas. Já em relação ao **Fall Detective**, não existe qualquer tipo de restrição em termos de ambiente de recolha de dados dos sensores. Após ativação do serviço, este irá executar permanentemente em segundo plano até uma eventual deteção de queda ou a sua paragem seja forçada pelo utilizador.

Capítulo 5

Análise de Resultados

5.1 Interfaces do Sistema

Ao abrir a aplicação, o utilizador tem a opção de registar uma conta ou efetuar o login de uma conta já previamente criada.



Figura 16: Página inicial

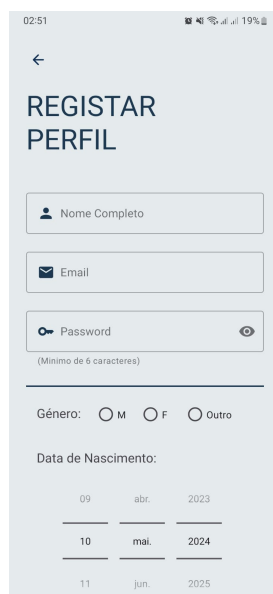


Figura 17: Registo

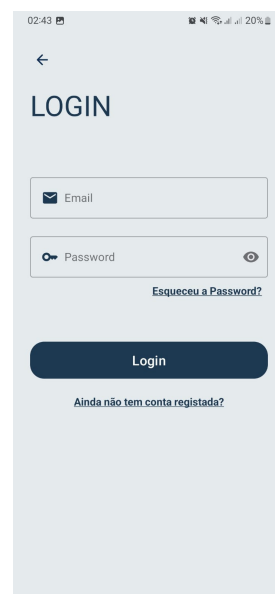


Figura 18: Login

Após efetuar o login, a aplicação abre a página principal. Nesta página é realizado o registo das quedas (Figura 19), apresenta o histórico das quedas (Figura 20), permite visualizar o perfil e o(s) contacto(s) de emergência (Figura 21) e apresenta outra janela de configurações (Figura 22).

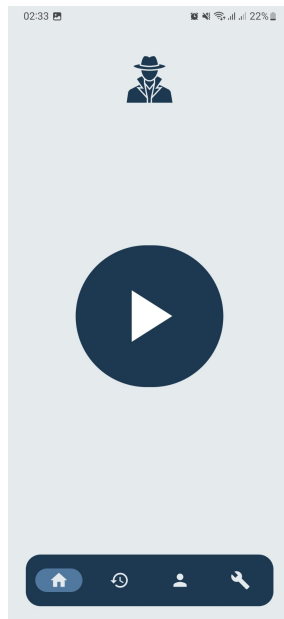


Figura 19: Página Inicial

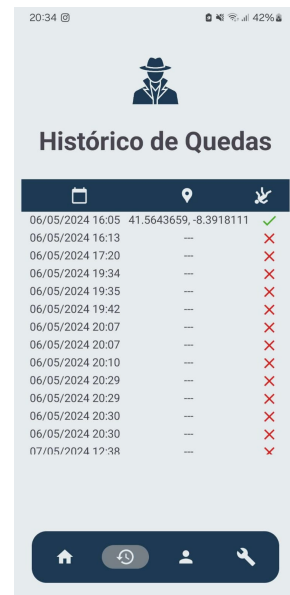


Figura 20: Histórico das quedas



Figura 21: Perfil

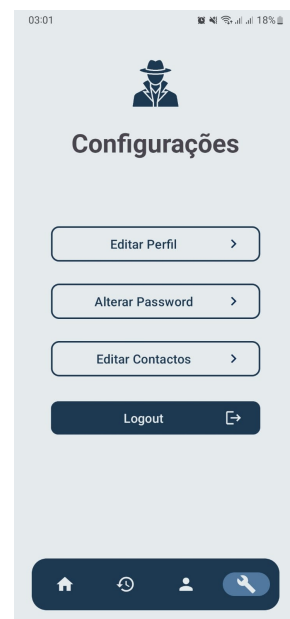


Figura 22: Configurações

Dentro das configurações é possível editar o perfil (Figura 23), alterar a password (Figura 24) e editar os contactos de emergência (Figura 25).

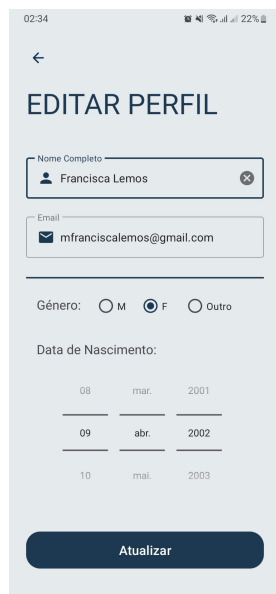


Figura 23: Editar perfil de utilizador

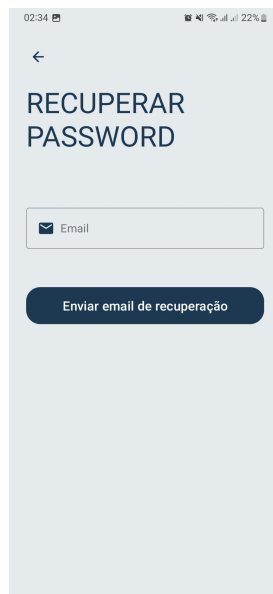


Figura 24: Recuperar a password



Figura 25: Editar contactos de emergência

Quando o utilizador pressiona o botão para a deteção de quedas (Figura 19) aparece uma notificação *ongoing*.

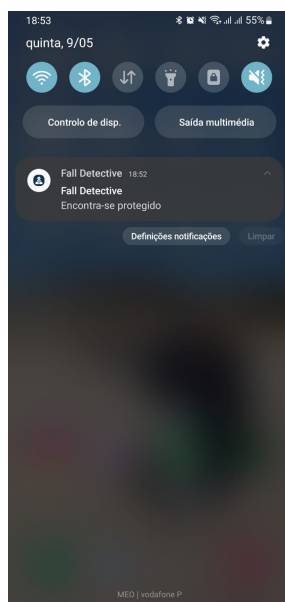


Figura 26: Notificação no registo de quedas

Se uma queda for detetada, aparece uma nova janela na aplicação, a perguntar ao utilizador se realmente ocorreu uma queda ou se está tudo bem (Figura 27). Caso o utilizador confirme a queda, é enviada uma mensagem aos contactos de emergência com a sua localização.



Figura 27: Página de alerta de queda

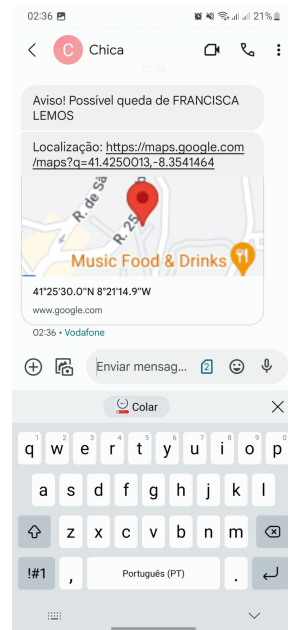


Figura 28: Envio de message de alerta

5.2 Aspetos Positivos

Analisando o produto final desenvolvido é possível notar alguns aspetos positivos relativos ao cumprimento de alguns dos objetivos propostos para a realização do projeto:

- A aplicação extra desenvolvida com a finalidade de recolha de dados, apresentou-se como um método extremamente útil não só para todo o processo de recolha mas também para o auxílio da organização do armazenamento dos dados obtidos.
- A utilização de sensores como o acelerômetro e o sensor de proximidade revelou-se muito bem conseguida em ambas as aplicações com o cumprimento na totalidade do propósito definido para os mesmos.
- Tendo como principal objetivo chamar a atenção ao seu redor, o comportamento de alarme da aplicação, através da vibração e do toque de um alarme no volume máximo, cumpre também com elevado grau de satisfação os requisitos propostos. Para além disso a janela relativa a este alarme é capaz de se sobrepor ao ecrã bloqueado de forma a possibilitar a sua interação. Para além disso, os botões de *slide* presentes nesta página representam também uma tentativa de proteção de eventuais toques acidentais e consequentes erros na confirmação.
- Na sequência da janela de alarme, o comportamento relacionado com a confirmação de uma situação de emergência, nomeadamente o aviso e respetiva localização direcionado aos contactos de emergência foi também implementado na sua totalidade.

5.3 Limitações e Trabalho Futuro

Ao longo do desenvolvimento do sistema proposto foram detetadas algumas complicações e limitações ao cumprimento dos requisitos definidos para o projeto:

- A principal limitação encontrada é relativa à estratégia implementada para a deteção de quedas. Os recursos disponíveis para a realização do projeto não tornaram viável a implementação de um modelo de *Machine Learning* de qualidade para o efeito, tal como se pretendia originalmente. Ao invés, o algoritmo utilizado apresenta uma maior tendência para a diminuição da precisão da deteção. Deste modo, este tópico deverá ser explorado como trabalho futuro.
- Para além da dificuldade em arranjar voluntários para a recolha de dados e no seguimento desta mudança de estratégia, esta etapa acabou por perder o seu sentido de urgência. Nesse aspeto, poderiam ter sido efetuadas mais medições de forma a proporcionar uma melhor análise do problema.
- Relativamente à procura de uma maior eficiência da monitorização, a partir do controlo do sensor de proximidade, a solução apresenta algumas falhas com esse sensor num cenário onde o telemóvel, dentro do bolso, não se encontra com o ecrã voltado para a perna.
- Outra limitação prende-se na ausência de suporte universal para todos os dispositivos *Android*. Uma das funcionalidades fundamentais da aplicação final, em particular, a necessidade da execução do serviço de monitorização em segundo plano apenas se apresenta com bom funcionamento em dispositivos com versão *Android* inferior a 14. Apesar de todos os esforços realizados, nomeadamente através da exploração do módulo *Power Manager*, os dispositivos que apresentam a versão 14 do *Android* tendem a adormecer o serviço em segundo plano num cenário de bloqueio de ecrã. Sendo assim, é crucial realizar uma pesquisa e análise contínua sobre o tema, visando a identificação da origem do problema de forma precisa.

Capítulo 6

Conclusão

Em jeito de conclusão, apesar das limitações mencionadas anteriormente, o grupo reconhece o progresso significativo alcançado na realização do projeto, tendo alcançado os principais objetivos estabelecidos. Com a consciência das limitações presentes, reconhecemos o amplo espaço para melhoria no futuro, especialmente no capítulo relativo ao algoritmo de deteção de quedas.

O trabalho realizado permitiu a consolidação da matéria lecionada ao longo do semestre, permitindo a perceção prática do impacto da sensorização móvel no contexto referido. Para além disso, o desenvolvimento de aplicações *Android* revelou-se um processo desafiador dada a falta de experiência na área, conferindo assim mais uma habilidade valiosa para futuro desenvolvimento.

Adicionalmente, acreditamos ter criado com satisfação uma base de desenvolvimento sólida, abrindo caminho para futuros projetos e pesquisas sobre o tema.