

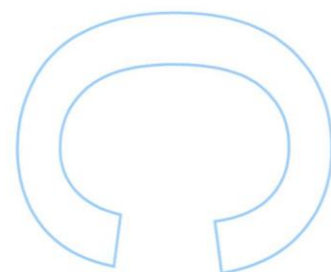
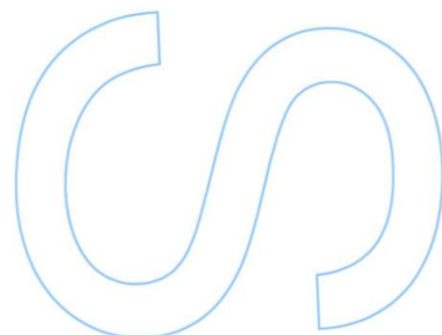
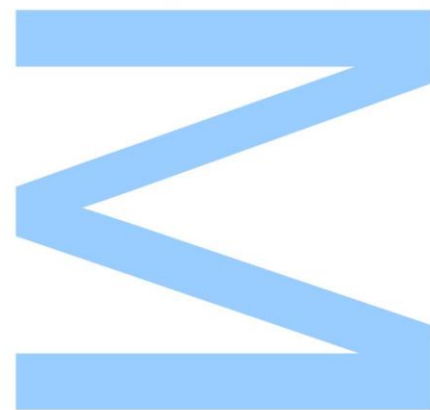
Altimetria Barométrica Suportada por Fusão de Observações Meteorológicas com Previsões Numéricas

Marcelo Rolo Gomes

Mestrado Integrado em Engenharia de Redes e Sistemas Informáticos
Departamento de Ciências de Computadores
2017

Orientador

Sérgio Crisóstomo, Professor Auxiliar, FCUP

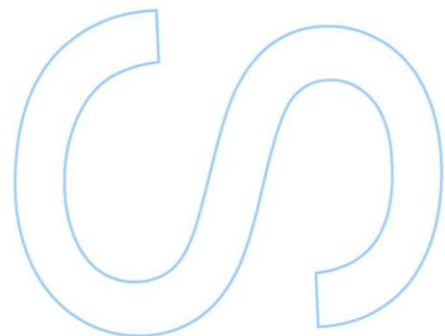
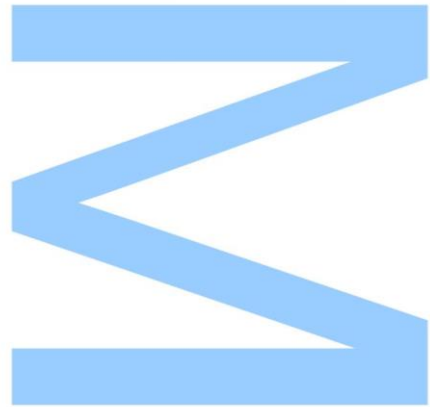




Todas as correções determinadas pelo júri, e só essas, foram efetuadas.

O Presidente do Júri,

Porto, ____ / ____ / ____



Abstract

This thesis presents the study of solutions and the implementation of a system that allows to estimate the altitude in barometric sensor equipped mobile devices, such as smartphones.

The calculation of altitude based on atmospheric pressure requires a pressure and temperature reference value. To obtain it, a software (server) was implemented to combine information from meteorological observation reports with data obtained from numerical models of meteorological forecast. These reference values are used by mobile devices (clients) that conjugate them with the pressure value read by the barometric sensor to determine the altitude of the device.

The numerical prediction data allow to estimate the spatial and temporal variation of atmospheric pressure and temperature. The reports of meteorological observations allow to correct deviations of the forecast values, in relation to the values measured in meteorological stations.

The interaction with the server is done by the mobile application *Altimeter*, developed in a previous work, that was adapted to obtain the reference values through the developed server.

Resumo

Esta dissertação apresenta o estudo de soluções e a implementação de um sistema que permite estimar a altitude em dispositivos móveis equipados com sensor barométrico, tais como *smartphones*.

O cálculo da altitude baseado na pressão atmosférica requer um valor de referência da pressão e temperatura. Para a sua obtenção, foi implementado um software (servidor) que conjuga informações provenientes de relatórios de observações meteorológicas com dados obtidos de modelos numéricos de previsão meteorológica. Esses valores de referência são consultados por dispositivos móveis (clientes) que os conjugam com o valor da pressão lida pelo sensor barométrico para determinar a altitude do dispositivo.

Os dados de previsão numérica permitem estimar a variação espacial e temporal da pressão atmosférica e da temperatura. Os relatórios de observações meteorológicas permitem, por sua vez, corrigir eventuais desvios dos valores de previsão, relativamente aos valores medidos em estações meteorológicas.

A interação com o servidor é realizada com a aplicação móvel *Altimeter*, desenvolvida num trabalho anterior, que foi adaptada para obter os valores de referência através de consultas ao servidor desenvolvido.

Agradecimentos

Queria agradecer em primeiro lugar à minha família que durante todo este tempo foi o meu suporte e sempre me deu força para continuar e não desistir. Não só por estar sempre disponível para me ajudar como por todo o esforço que fez para que eu conseguisse ter esta oportunidade.

Queria também agradecer aos meus amigos que me acompanharam nesta jornada, que partilharam das mesmas dificuldades e me ajudaram a conseguir avançar.

Por fim queria agradecer ao meu orientador Sérgio Crisóstomo, que foi o principal responsável pela elaboração deste trabalho de investigação na medida em que foi ele que me mostrou o caminho a seguir e me ajudou com tudo o que estava ao seu alcance.

Conteúdo

Abstract	v
Resumo	vii
Agradecimentos	ix
Conteúdo	xiii
Lista de Tabelas	xv
Lista de Figuras	xviii
Acrónimos	xix
1 Introdução	1
1.1 Contexto	2
1.2 Objetivos	3
1.3 Organização do documento	3
2 Enquadramento	5
2.1 Fórmula barométrica	5
2.1.1 Derivação da fórmula barométrica para obtenção da altitude	6
2.2 Observações meteorológicas	7
2.3 Modelos de previsão meteorológica	9
2.3.1 Exemplos de modelos de previsão meteorológica	10

2.3.2	Modelo <i>ARPEGE</i>	12
2.4	Trabalho Relacionado	13
3	Arquitetura do sistema	17
3.1	Servidor	18
3.1.1	Recolha de dados de observações	20
3.1.2	Formato METAR	20
3.1.3	Recolha de dados de previsões	22
3.1.4	<i>Python</i> e ficheiros GRIB	24
3.1.5	Fórmula de Haversine	24
3.1.6	Interpolação Inverse Distance Weighted	24
3.1.7	Licença Dados	25
3.2	Aplicação Android	26
4	Implementação - Servidor	29
4.1	Recolha de dados de previsões	30
4.2	Pedidos de clientes	32
4.3	Pesquisa no Ficheiro <i>General Regularly-distributed Information in Binary form</i> (GRIB)	33
4.4	Método com dados de previsão meteorológica	34
4.5	Download de observações em formato <i>Meteorological Aerodrome Report</i> (METAR)	35
4.6	Método com conjugação de dados de observações METAR e previsões meteorológicas	36
4.7	Método com conjugação de dados de observações Instituto Português do Mar e Atmosfera (IPMA) e previsões meteorológicas	38
4.8	Método com dados de observações da estação METAR mais próxima	39
4.9	Combinação de métodos	40
4.10	Sistema de <i>logs</i>	40
4.11	Sincronização e acesso a recursos partilhados	41
5	Implementação - Aplicação <i>Android</i>	43

5.1	Estrutura do interface de utilizador	45
5.2	Parâmetros de configuração	46
6	Resultados	49
6.1	Descrição do ambiente de testes	49
6.2	Método com dados de previsão meteorológica	52
6.3	Método com dados de observações da estação METAR mais próxima da localização do utilizador	53
6.4	Método com dados de previsão meteorológica conjugados com observações de estações METAR	54
6.5	Método com dados de previsão meteorológica conjugados com observações de estações IPMA	54
7	Conclusões	59
7.1	Trabalho Futuro	60
	Bibliografia	63

Lista de Tabelas

2.1	Comparação das aplicações <i>Android</i> para cálculo de altitude	15
-----	---	----

Lista de Figuras

2.1	Distribuição de estações <i>Meteorological Aerodrome Report</i> (METAR) [17]	7
2.2	Distribuição de estações Instituto Português do Mar e Atmosfera (IPMA) em Portugal e dados disponibilizados [15]	8
2.3	Dados relativos a <i>reports</i> METAR realizados pelo <i>Aviation Weather Center</i> (AWC) [7]	9
2.4	Diagrama de funcionamento dos modelos de previsão [34]	11
3.1	Sistema implementado	17
3.2	Exemplo de combinação de dados de observações e previsões para pressão atmosférica	19
3.3	Exemplo de report METAR da estação LPPR [8]	20
3.4	Exemplo de um report METAR codificado em XML [9]	21
3.5	Diferenças entre <i>General Regularly-distributed Information in Binary form</i> (GRIB) v1 e v2	22
3.6	Cobertura de um ficheiro GRIB com definição EURAT01 e GLOB05 - Imagem obtida através do software Panoply [20]	23
3.7	Estrutura em grelhas do ficheiro GRIB [14]	23
3.8	Exemplo figurativo da interpolação <i>Inverse Distance Weighted</i> (IDW)	25
3.9	Interface da aplicação Altimeter	26
4.1	Arquitetura do Servidor	30
4.2	Atualização de ficheiros GRIB	31
4.3	Tratamento da chegada de um cliente ao servidor	32
4.4	Grelha ficheiro GRIB 0.1º - Imagem obtida através do software Panoply [20]	34

4.5	Fluxograma da execução do método com dados de previsão meteorológica	35
4.6	Fluxograma da execução do método com dados de previsão meteorológica e dados de observações METAR	36
4.7	Fluxograma da execução do método com dados de observações da estação METAR mais próxima	39
4.8	Ficheiro de <i>logs</i> gerado pelo sistema	41
5.1	Estrutura interna da aplicação Android	43
5.2	Interface da aplicação Altimeter	45
5.3	Parâmetros configuráveis da aplicação <i>Android</i>	46
5.4	Definição da frequência de pedidos da aplicação <i>Android</i>	47
5.5	Definição do tipo de pedido da aplicação <i>Android</i>	47
6.1	Funcionamento do sistema de <i>logs</i>	49
6.2	Comparação entre os diferentes métodos implementados	51
6.3	Resultados do método com dados de previsão meteorológica	52
6.4	Frequência acumulada do erro de altitude com o método com dados de previsão meteorológica	52
6.5	Resultados do método que utiliza dados de relatórios da estação METAR mais próxima	54
6.6	Frequência acumulada do erro de altitude com o método que utiliza dados de relatórios da estação METAR mais próxima	55
6.7	Resultados do método que conjuga previsões com observações de estações METAR	55
6.8	Frequência acumulada do erro de altitude com o do método que utiliza dados de relatórios da estação METAR combinados com dados de previsões meteorológicas	56
6.9	Resultados do método que conjuga previsões com observações de estações IPMA	56
6.10	Frequência acumulada do erro de altitude com o método que conjuga previsões com observações de estações IPMA	57
6.11	Resultados dos diferentes métodos implementados	58

Acrónimos

METAR <i>Meteorological Aerodrome Report</i>	NOAA <i>National Oceanic and Atmospheric Administration</i>
ICAO <i>International Civil Aviation Organization</i>	NCEP <i>National Centers for Environmental Prediction</i>
WMO <i>World Meteorological Organization</i>	ECMWF <i>European Centre for Medium-Range Weather Forecasts</i>
IPMA <i>Instituto Português do Mar e Atmosfera</i>	GPS <i>Global Positioning System</i>
GRIB <i>General Regularly-distributed Information in Binary form</i>	API <i>Application Programming Interface</i>
CEP <i>Centre Européen de Prévision</i>	XML <i>eXtensible Markup Language</i>
CNRM <i>Centre National de Recherches Météorologiques</i>	RADAR <i>Radio Detection And Ranging</i>
ARPEGE <i>Action de Recherche Petite Echelle Grande Echelle</i>	IDW <i>Inverse Distance Weighted</i>
IFS <i>Integrated Forecast System</i>	AWC <i>Aviation Weather Center</i>
PNT <i>Previsão Numérica do Tempo</i>	HTTP <i>Hypertext Transfer Protocol</i>
	AWC <i>Aviation Weather Center</i>
	ADDS <i>Aviation Digital Data Service</i>

Capítulo 1

Introdução

O trabalho apresentado ao longo desta dissertação espelha o desenvolvimento de um sistema para o cálculo da altitude baseado em dados provenientes de um sensor barométrico de um dispositivo móvel e dados meteorológicos recolhidos de um conjunto de fontes.

É sem dúvida notável a disseminação dos dispositivos móveis nos últimos anos. A sociedade atual englobou no seu quotidiano a utilização deste tipo de dispositivos e tal facto abriu portas para o crescimento das aplicações móveis. O crescimento deste tipo de aplicações levou à abertura do leque de temas que as mesmas abrangem, podendo hoje em dia ser encontrada uma “app” que substitua um vasto conjunto de dispositivos, como é o exemplo das aplicações de *homebanking*, das aplicações que substituem o GPS nos automóveis, etc.

A evolução tecnológica dos últimos anos levou também à inclusão de diversos sensores nos dispositivos móveis, fazendo assim com que estes aumentassem ainda mais a variedade das suas possíveis utilizações. Um exemplo de sensores existentes hoje em dia nos *smartphones* são os sensores barométricos. A integração de sensores barométricos em dispositivos móveis veio abrir portas para o aparecimento de aplicações que envolvem a utilização de dados dos mesmos para, por exemplo, calcular a altitude no local onde o dispositivo se encontra.

A problemática em torno da utilização de dados de pressão barométrica para o cálculo da altitude prende-se na obtenção de valores de referência para estabelecer a relação entre a pressão e a temperatura com a altitude. O ponto fulcral deste trabalho de investigação passa por tentar otimizar a qualidade dos valores de referência para o cálculo da altitude.

A estratégia adotada compreende a utilização de duas fontes de dados distintas para obtenção dos valores de referência, tentando colmatar com uma os pontos negativos da outra.

A construção do sistema descrito ao longo deste documento envolve a manipulação e conjugação de dados de previsões e observações meteorológicas para computar os valores de entrada da fórmula barométrica e ter como resultado final um valor de altitude o mais próximo do real quanto possível.

1.1 Contexto

Por definição, altimetria é o estudo ou técnica da medição de altitude. O seu objetivo é extrair informação de dados relacionados com a altitude em relação a um determinado ponto de referência. Existem diversas formas de recolher dados relativos à altitude, não necessariamente relacionadas. A escolha da técnica mais adequada para a medição da altitude varia de acordo com os requisitos do sistema.

Na altimetria podem ser considerados diferentes pontos de referência, também conhecidos por *datum*. Regra geral é considerada a superfície terrestre como referência e para simular a sua forma utilizam-se modelos físicos. Como exemplos de modelos podem distinguir-se o geóide e o elipsoide. O primeiro representa a morfologia do planeta Terra através do seu campo gravítico e o segundo recorre à geometria, consistindo numa superfície regular que simula o formato do planeta.

Existem inúmeras técnicas para a medição da altitude, a título de exemplo podem distinguir-se o *Radio Detection And Ranging (RADAR)* e o *Global Positioning System (GPS)*. Usando a tecnologia **RADAR**, a altitude corresponde à distância vertical entre um dispositivo radar e uma superfície de referência. O seu modo de operação passa pelo envio de um sinal com uma determinada potência em direção a uma superfície de referência. Sinal esse que posteriormente interage com a superfície, sendo parte da radiação incidente refletida de volta para o radar. A medição baseia-se no tempo que esse processo demora. Outra das formas de recolher dados relacionados com a altitude é baseada no **GPS**.

Ao instrumento usado para calcular a altitude dá-se a designação de altímetro. O tipo de altímetro a ser usado neste trabalho recorre à pressão atmosférica para calcular a altitude [5]. Pressão atmosférica corresponde à pressão exercida pela massa de ar que está acima de um dado nível, massa essa que vai diminuindo à medida que se aumenta a altitude a que se está de um determinado *datum* [23]. O instrumento de medição da pressão atmosférica tem o nome de barómetro e a unidade de pressão usada é o *hectopascal (hPa)*.

Na altimetria baseada em sensores barométricos o cálculo da altitude faz-se recorrendo a uma expressão que relaciona a pressão a uma determinada altitude com valores de pressão e temperatura de referência [24].

A implementação das soluções para o cálculo de altitude terá como prova de conceito uma aplicação que recorre a dados provenientes do sensor barométrico do *smartphone* e dados de estações meteorológicas para a aplicação da equação barométrica [24]. Porém, os dados recebidos das estações *Meteorological Aerodrome Report (METAR)* apresentam uma resolução de 1 *hPa*, que corresponde a uma resolução de, aproximadamente 8 metros, no cálculo final da altitude. Um serviço de agregação de informações meteorológicas difundidas por estações meteorológicas com dados provenientes de modelos de previsão será implementado, permitindo dessa forma a determinação de um valor mais preciso da pressão e temperatura de referência, e consequentemente, um valor da altitude mais preciso. Um sistema baseado apenas em informações

provenientes de observações de estações meteorológicas resume-se a um conjunto de medições discretas de observações irregulares, esparsas e com uma resolução de 1 *hPa* a nível global. Além disso, caso a chegada de observações seja interrompida, o sistema deixa de funcionar [28]. Estes factos são a principal motivação para a introdução de modelos de previsão uma vez que estes podem corrigir temporal e espacialmente a escassez de observações bem como transformar valores discretos em valores contínuos, usando as previsões meteorológicas para atualizar as observações medidas no passado.

1.2 Objetivos

O principal objetivo a que esta dissertação se propõe, corresponde à implementação de um sistema que permita estimar a altitude precisa de um utilizador, baseando-se na pressão atmosférica e recorrendo a diferentes métodos para o cálculo dos valores de referência de pressão e temperatura.

Foi também traçado o objetivo de se realizar um estudo comparativo entre todos os métodos implementados com vista a estudar a performance das fontes de dados utilizadas, bem como os diferentes métodos implementados.

Podem-se distinguir de maneira mais detalhada os seguintes objetivos:

- Estudo do formato *General Regularly-distributed Information in Binary form* (GRIB) e de uma *Application Programming Interface* (API) para manipulação de ficheiros GRIB (informação de modelos numéricos de previsão meteorológica);
- Desenvolvimento de técnicas para aperfeiçoamento do cálculo de altitude recorrendo ao sensor barométrico, apoiado por dados de observações de estações barométricas terrestres e por dados de previsão meteorológica;
- Desenvolvimento de técnicas para ajustar os valores provenientes de previsões meteorológicas em função de observações meteorológicas;
- Adaptação da aplicação *Android Altimeter*, desenvolvida num projeto de investigação anterior, para demonstração das técnicas desenvolvidas;
- Avaliação de desempenho das técnicas desenvolvidas.

1.3 Organização do documento

O segundo capítulo apresenta as principais bases teóricas onde esta dissertação assenta, fazendo uma introdução à fórmula barométrica, fontes de dados de observações e fontes de dados de previsões. É também descrito um conjunto de soluções já existentes para o cálculo de altitude baseadas na pressão barométrica, nomeadamente aplicações concretas em áreas como a saúde,

bem como aplicações móveis com o mesmo propósito que a aplicação que se construiu no âmbito deste trabalho de investigação.

No terceiro capítulo é feita uma descrição geral do sistema implementado. Além disso é também relatada como foram recolhidos os dados de observações e previsões. Ainda no mesmo capítulo é explicado o formato dos dados de observações e previsões, bem como alguns métodos utilizados na implementação da solução. Este capítulo encerra com uma descrição visual e funcional da aplicação *Android* implementada.

No quarto capítulo descreve-se a implementação do servidor. Neste capítulo é feita uma análise de todos os constituintes do servidor, desde a recolha de ficheiros de previsões até à aplicação de todos os métodos para o cálculo de altitude, passando pela manipulação dos pedidos de clientes, pesquisa nos ficheiros de previsão **GRIB**, etc. Além disso, é também analisado o sistema de *logs* implementado no servidor.

O quinto capítulo apresenta a implementação levada a cabo a nível da aplicação *Android*. Neste capítulo é realizada uma análise em termos de estrutura do interface de utilizador, implementação e dos parâmetros configuráveis que dinamizam a aplicação.

No sexto capítulo são apresentados os resultados da aplicação dos diferentes métodos implementados, resultantes de uma recolha de dados resultante da interação da aplicação *Android* com o servidor implementado.

Por fim, no sétimo capítulo são apresentadas as principais conclusões extraídas deste trabalho de investigação. Além disso são mencionados pontos que podem ser melhorados como trabalho futuro.

Capítulo 2

Enquadramento

Ao longo deste capítulo é realizada uma descrição das principais bases teóricas abordadas no âmbito desta dissertação. Começa por ser feita uma introdução à fórmula barométrica, de seguida são apresentadas observações meteorológicas e modelos de previsões meteorológicas e termina com a apresentação de trabalhos relacionados.

2.1 Fórmula barométrica

A solução elaborada para responder aos objetivos propostos assenta na utilização de uma fórmula física que relaciona a pressão e a temperatura com a altitude e que será de seguida descrita.

A fórmula barométrica, apresentada em (2.1), relaciona a pressão $P(z)$ de um gás isotérmico ideal com uma massa molecular m a uma determinada altitude z , com a sua pressão $P(0)$ (pressão quando a altitude é zero metros), incluindo também os valores da aceleração gravitacional g , a constante de Boltzmann k e a temperatura T [26]. Apesar da sua simplicidade pelo facto de se considerar que a temperatura T é constante, retorna resultados razoáveis quando aplicada até 6 km de altitude [33].

$$P(z) = P(0) \exp\left(-\frac{mgz}{kT}\right) \quad (2.1)$$

Desde cedo foram levadas a cabo experiências que apontavam para uma relação entre pressão atmosférica e altitude. Os primeiros relatos remontam para uma constatação de Galileu Galilei, que veio a ser relatada três séculos mais tarde numa passagem de *Dialogues concerning two new sciences* no ano de 1632 [32].

A descoberta da fórmula barométrica propriamente dita, que permitiu posteriormente as suas respetivas extensões e derivações foi conseguida por Pierre-Simon de Laplace (1749-1827), fazendo com que por vezes seja também conhecida por fórmula de Laplace [26].

$$T(z) = T(0) - Lz \quad (2.2)$$

Considerando um campo gravitacional uniforme com um gradiente de temperatura vertical, assumindo uma variação linear da temperatura com a altitude, que segundo [26],[33] é uma boa aproximação na troposfera, podemos chegar à equação (2.2), que corresponde a uma boa representação da variação da temperatura na troposfera. O decréscimo da temperatura com a altitude na troposfera deve-se ao facto do ar ser aquecido pela superfície terrestre, pelo que quanto mais distante se está da superfície, menos está a ser aquecido [26], sendo que esse decréscimo é denominado por gradiente de temperatura. Como a equação (2.2) demonstra, a temperatura a uma determinada altitude é igual à temperatura a uma altitude de referência, subtraído do produto da altitude pelo gradiente de temperatura.

$$P(z) = P(0) \left(1 - \frac{Lz}{T(0)}\right)^{\frac{Mg}{RL}} \quad (2.3)$$

Na equação (2.3) está apresentada a equação que representa a dependência entre pressão e altitude para a troposfera. Como pode ser observado, esta fórmula retorna a pressão a uma determinada altitude z relacionando dados de pressão $P(0)$ num ponto de referência, temperatura $T(0)$ num ponto de referência e constantes correspondentes ao gradiente de temperatura, massa molar, força gravitacional, e constante universal dos gases. De seguida serão explicados cada um dos constituintes da fórmula barométrica na derivação da mesma utilizada nesta dissertação.

2.1.1 Derivação da fórmula barométrica para obtenção da altitude

A aplicação desejada da fórmula barométrica consiste na sua utilização para obter o valor da altitude através da junção de dados de temperatura e pressão. Para tal, recorre-se à equação representada na equação (2.4).

$$z = \frac{T(0)}{L} \left(1 - \left(\frac{P(z)}{P(0)}\right)^{\left(\frac{RL}{gM}\right)}\right) \quad (2.4)$$

Como parâmetros de entrada, além da pressão $P(z)$ no ponto de interesse, esta equação recebe também valores de referência da pressão e temperatura, sendo que no contexto deste trabalho de investigação foram usadas a pressão ao nível médio do mar $P(0)$ e a temperatura ao nível médio do mar $T(0)$. Para o cálculo da altitude é usada a constante L , que corresponde ao gradiente de temperatura, isto é, o rácio a que a temperatura decresce com o aumento da altitude na troposfera. Além disso, é também utilizada a constante gravitacional g , a constante universal dos gases R e como constante de massa considera-se a massa molar do ar seco M .

Os parâmetros com mais influência na precisão do cálculo da altitude são a pressão local $P(z)$, a pressão de referência $P(0)$ e a temperatura de referência $T(0)$, pelo que quanto mais

precisos estes valores forem maior será a precisão do cálculo da altitude [35]. De seguida são descritas diferentes fontes para a obtenção de valores de referência para pressão e temperatura.

2.2 Observações meteorológicas

Um dos formatos mais usados para reportar informação das condições meteorológicas é o formato *Meteorological Aerodrome Report* (**METAR**), usado tanto em aviação como para a aplicação em previsões meteorológicas.

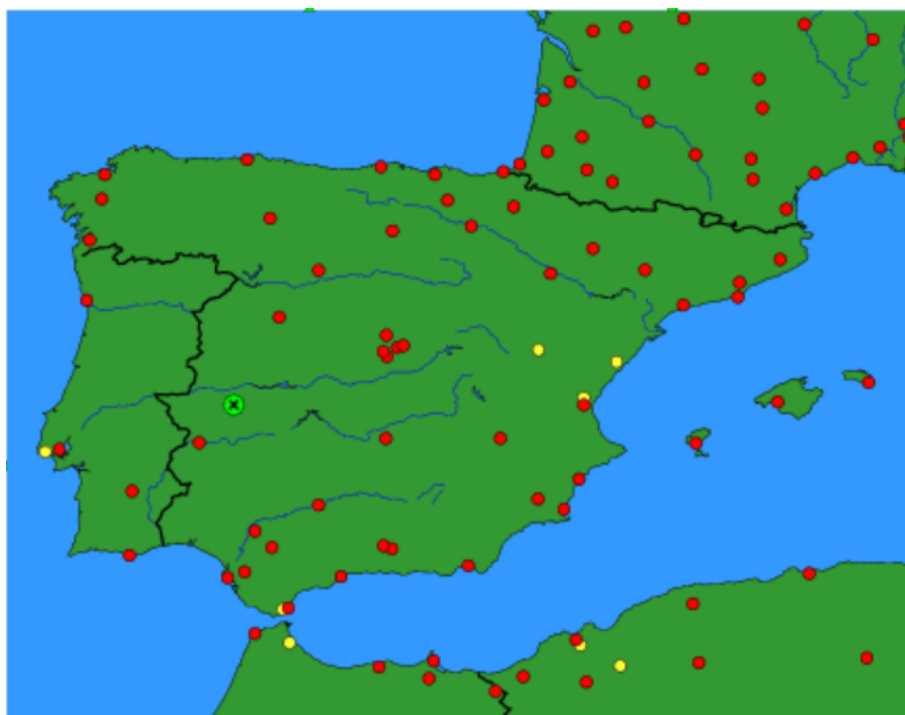


Figura 2.1: Distribuição de estações **METAR** [17]

O formato **METAR** foi estandardizado pela *International Civil Aviation Organization* (ICAO), o que fomentou a sua utilização globalmente. A figura 2.1 apresenta a distribuição de estações **METAR** na península Ibérica. Relatórios meteorológicos neste formato são compostos por um identificador da estação responsável pela sua difusão bem como a sua localização em termos de latitude, longitude e a data em que o relatório foi feito.

Associado ao identificador temporal e espacial, o relatório contém informação sobre o vento, nomeadamente a sua velocidade e direção; alcance de visibilidade; condições atmosféricas presentes, compostas por uma sigla identificadora; pressão barométrica e temperatura medidas na estação.

Além dos dados de observações provenientes dos relatórios **METAR** que cobrem o globo terrestre, a nível nacional o Instituto Português do Mar e Atmosfera (IPMA) fornece dados meteorológicos de estações meteorológicas dispersas por Portugal (fig. 2.2), garantindo assim um

maior densidade de estações de observação.

Outra das razões para a introdução das observações provenientes de estações meteorológicas do IPMA foi o facto destas apresentarem uma definição superior no valor relativo à pressão atmosférica em cada relatório. Estações METAR apresentam uma definição de 1 *hPa*, já as estações IPMA reportam valores de pressão com uma definição de 0.1 *hPa*.

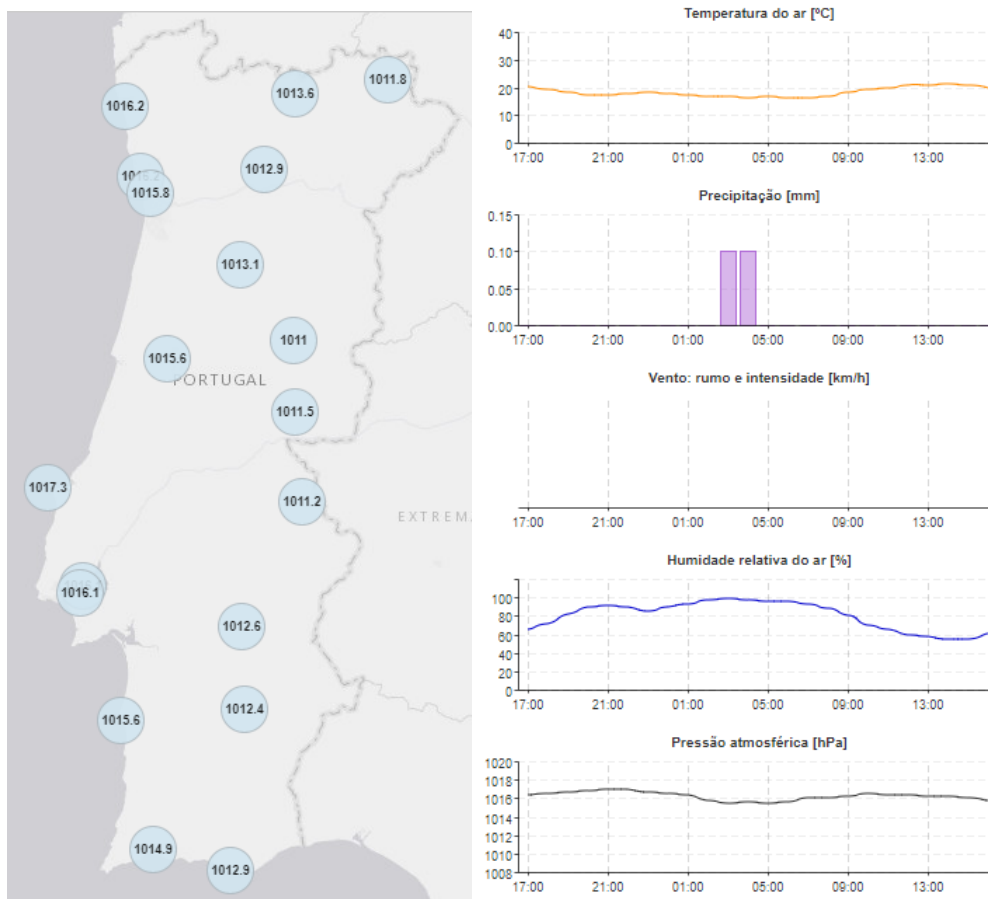


Figura 2.2: Distribuição de estações IPMA em Portugal e dados disponibilizados [15]

A metodologia usada para a recolha de dados relativos a observações de diferentes estações meteorológicas em formato METAR, envolveu a escolha de um serviço agregador de informação com vista a agilizar o processo de pesquisa. Foram tidos em conta diversos serviços e chegou-se à conclusão que o que mais se adequava era o serviço disponibilizado pelo *AviationWeather* [7] uma vez que este fornece uma *Application Programming Interface (API)* que facilita a recolha e agregação de dados de observações meteorológicas.

Aviation Weather Center (AWC) é um constituinte do *National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA)* que visa oferecer informações meteorológicas para o sistema de espaço aéreo mundial com vista a melhorar a segurança e eficiência de voos [7].

As estações meteorológicas de todo o mundo comunicam as condições meteorológicas com determinada frequência utilizando o formato METAR aprovado pela *World Meteorological*



Figura 2.3: Dados relativos a *reports METAR* realizados pelo *AWC* [7]

Organization (WMO). Estes dados são recolhidos centralmente por cada país e distribuídos internacionalmente pela *WMO* e outros serviços.

O *Aviation Digital Data Service (ADDS)*, parte integrante do *AWC*, descodifica os relatórios *METAR* e guarda até sete dias de dados numa base de dados. Os dados disponíveis na base de dados incluem: temperatura, pressão, ponto de orvalho, velocidade do vento, direção do vento, visibilidade, nuvens e qualquer outra condição meteorológica relatada pela estação *METAR* (fig. 2.3) [8].

O *AWC* permite o acesso aos seus dados através de pedidos *Hypertext Transfer Protocol (HTTP)* configuráveis, permitindo assim a adaptação do pedido ao tipo de dados que se pretendem receber.

2.3 Modelos de previsão meteorológica

Os modelos de previsões são constituídos por código computacional que representa aproximações numéricas de equações matemáticas representativas das leis físicas que regem o comportamento da atmosfera e as interações com a superfície. São utilizados para simular um estado futuro dos parâmetros meteorológicos.

As previsões meteorológicas calculadas por estes modelos são tipicamente armazenadas em ficheiros *General Regularly-distributed Information in Binary form (GRIB)* que contêm previsões

de diferentes parâmetros da atmosfera. A nível deste trabalho de investigação, as previsões armazenadas no ficheiro **GRIB** têm como objetivo ser combinadas através de diferentes técnicas com dados provenientes do modelo de observações referido anteriormente e melhorar o cálculo da altitude.

A previsão do tempo é considerada um problema de valor inicial [34]. Existindo uma estimativa do estado atual da atmosfera (condições iniciais), um modelo simula e prevê a sua evolução, sendo que o mais importante corresponde à determinação das condições iniciais desse mesmo modelo [30][34]. Quanto mais exata for a estimativa da condição inicial, melhor será a qualidade da previsão [31].

Com vista a obter uma boa estimativa das condições atmosféricas que iniciam os modelos numéricos de previsão, recorre-se a ferramentas de assimilação de dados para combinar dados provenientes de observações e dados do modelo físico-matemático de previsão.

Desde cedo se concluiu que para a previsão numérica do tempo funcionar seria necessário usar informação adicional. Para além da condição inicial, que alimenta o estado inicial do sistema de previsões, são necessários dados constantes acerca do estado real da atmosfera para manter o modelo o mais próximo da realidade. Os sistemas de previsão do tempo evoluíram para a forma de ciclos, tipicamente de 6 horas em que ao estado atual do sistema é assimilada informação de observações, gerando-se uma nova previsão como está demonstrado no diagrama da figura 2.4. Assim sendo o modelo matemático está a ser sistematicamente ajustado à realidade com a integração de valores de observações [34].

Talagrand (1997) [41] definiu que a assimilação de observações meteorológicas ou oceanográficas podem ser descritas como um processo por meios do qual todas as informações disponíveis são utilizadas para estimar com exatidão o estado do fluido atmosférico ou oceânico [31], por sua vez, Lorenz (1963) [36] concluiu que mesmo com os modelos perfeitos e observações perfeitas, a natureza caótica da atmosfera irá sempre impor um limite finito para a previsão do estado do tempo.

Assim sendo, é necessário estar constantemente a fornecer observações ao sistema de maneira a ele se ir ajustando à evolução da atmosfera e fazendo assim com que ele esteja mais próximo de representar o estado real da atmosfera.

2.3.1 Exemplos de modelos de previsão meteorológica

Segundo o **IPMA** [3], a Previsão Numérica do Tempo (**PNT**) é uma atividade relativamente recente, que teve a sua primeira experiência de sucesso em 1950, atribuída a Jule Charney. Hoje em dia, a **PNT** integra as atividades da maior parte dos serviços meteorológicos de todo o mundo. As previsões globais, para um alcance de cerca de uma semana, são feitas em apenas alguns centros mundiais. Porém em muitos países são produzidas previsões regionais ou locais para alcances mais curtos.

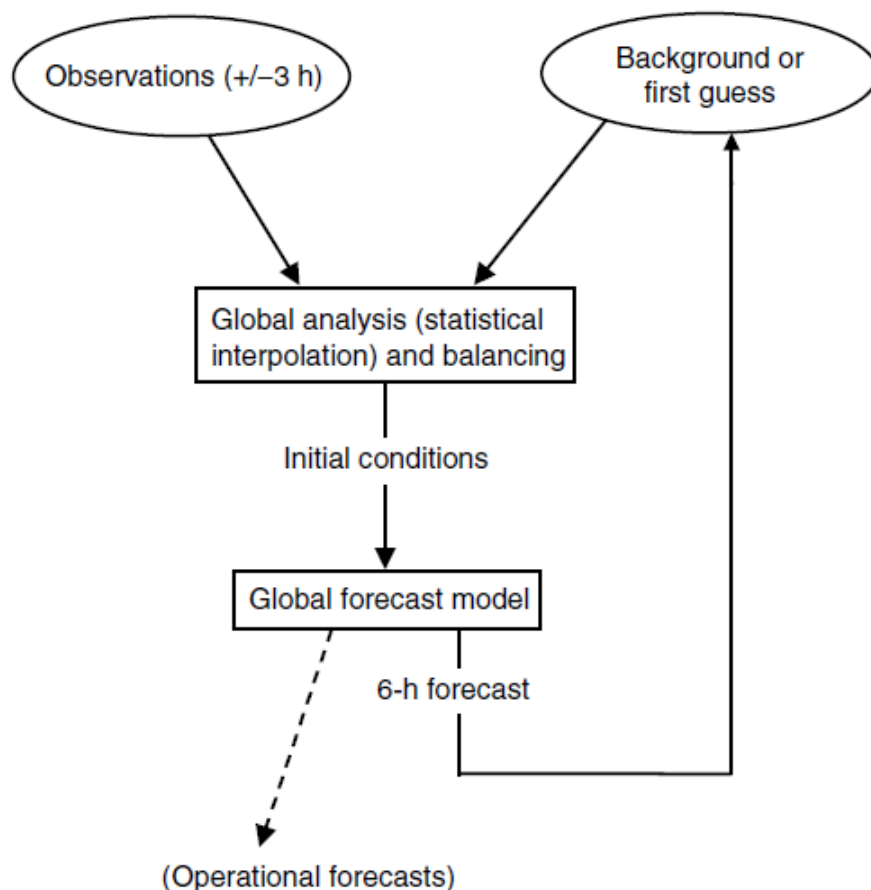


Figura 2.4: Diagrama de funcionamento dos modelos de previsão [34]

Um modelo meteorológico divide o mundo ou uma região em pequenas células de uma grelha. Cada célula tem dimensões que podem ir dos 4 km a 40 km de largura e 100 m a 2 km de altitude. Os modelos podem conter diferentes números de camadas atmosféricas e atingir até aos 60 km de altitude na estratosfera. O clima é simulado através da resolução de equações matemáticas entre todas as células da grelha. Variáveis como a temperatura, velocidade do vento ou nuvens são armazenadas a cada hora [4].

"Em Portugal, o atual grupo de trabalho em PNT do IPMA surgiu em 1993, relançando esta atividade no serviço meteorológico nacional de forma integrada com o esforço europeu para o desenvolvimento da previsão numérica a médio e a curto prazos, sendo Portugal membro do *European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF)* e parceiro no projeto internacional *ALADIN*.

Dois dos principais produtos resultantes desta área de atividade no IPMA são as versões operacionais locais dos modelos de área limitada *ALADIN* e *AROME*, os quais possuem uma resolução horizontal, respetivamente, de 9 km e 2,5 km. Têm sido desenvolvidos vários produtos derivados destes modelos, bem como do modelo global do *ECMWF*, sendo efetuada a verificação e validação dos resultados de uma forma sistemática"[3].

Os principais fatores diferenciadores entre os modelos são a região coberta, a sua resolução e o seu tempo de atualização. Existem diferentes organizações que disponibilizam modelos de previsão, a *National Centers for Environmental Prediction* (NCEP) do NOAA disponibiliza modelos globais como o GFS22 e o GFS40 atualizados a cada 6 horas, com 22 km e 40 km de resolução, respetivamente. Disponibiliza também modelos regionais como o *NAM*, a cobrir a área da América do Norte, com definição de 5 km e 12 km, atualizados a cada 3 horas [4].

A nível europeu, organizações como a *Météo-France* disponibilizam desde modelos globais como o ARPEGE40 (40 km de resolução atualizado a cada 6 horas), a modelos regionais que vão desde os 11 km de resolução (ARPEGE11) aos 2 km de resolução (AROME2) na área geográfica da Europa e França respetivamente [4].

2.3.2 Modelo ARPEGE

A *Météo-France* está a cargo das observações meteorológicas sobre o território francês. Recebe de outros serviços meteorológicos medições recolhidas de todo o mundo e engloba todas as informações em modelos numérico de previsão. O modelo numérico *Action de Recherche Petite Echelle Grande Echelle* (ARPEGE) é um modelo de circulação geral e global desenvolvido em colaboração com o *Centre Européen de Prévision* (CEP) para PNT. A versão climática do modelo ARPEGE, chamada *ARPEGE-Climat*, foi desenvolvida na década de 90. Ao longo do tempo este modelo veio a tornar-se a componente atmosférica do modelo *Sistema Terrestre* do *Centre National de Recherches Météorologiques* (CNRM), agregando vários dos componentes do sistema climático [1].

No ARPEGE, previsões são interpoladas em cinco grelhas horizontais regulares de latitude-longitude com uma definição de $0,1^\circ \times 0,1^\circ$ na Europa, $0,5^\circ \times 0,5^\circ$ para o resto do mundo, e em vários níveis verticais (pressão, altitude, etc). Apesar do seu número crescente, a quantidade de observações disponíveis não cobrem toda a atmosfera. Além disso, as observações não são homogêneas no espaço ou no tempo. Para transformar todos estes dados numa descrição consistente do estado inicial utilizável para o modelo é utilizada assimilação dos dados.

Usando os valores iniciais produzidos por assimilação, os modelos calculam a evolução dos parâmetros meteorológico na grelha 3D que representa a atmosfera. A construção apoia-se sobre as leis físicas que governam o seu comportamento: leis de mecânica dos fluídos, complementada pelas leis das mudanças de estado de água (condensação, evaporação, formação de precipitação), turbulência, radiação ou as leis que descrevem as interações com a superfície da Terra [1].

A resolução horizontal é definida pelo tamanho da malha da grelha que representa o modelo, e a resolução vertical corresponde ao número de níveis verticais do modelo. A resolução espacial impõe que se respeite uma resolução temporal para os cálculos serem viáveis. O sistema global de previsão do tempo ARPEGE faz parte do software ARPEGE – *Integrated Forecast System* (IFS), projetado, desenvolvido e mantido em cooperação com o ECMWF. Este modelo cobre todo o globo terrestre, sendo usado para prever a evolução de fenómenos de grande escala como

depressões e anticiclones e para a previsão de até 3-4 dias [1].

Este é um modelo com uma resolução horizontal variável, 7,5 km em França e 35 km para o resto do mundo. O modelo de corte da atmosfera faz-se em 105 níveis verticais, com um primeiro nível de 10 metros acima da superfície e um nível superior a 70 km [1].

2.4 Trabalho Relacionado

Existem inúmeros implementações de soluções para cálculo de altitude baseados na pressão atmosférica, usando diferentes metodologias e diferentes configurações mediante os requisitos de cada sistema. Serão agora dados alguns exemplos de aplicações do cálculo de altitude dando uso à fórmula barométrica.

Descrito em [38] está uma da aplicação da área da medicina que se propôs a melhorar o sistema de deteção e classificação de *STS* (*Sit To Stand* e *Stand To Sit*). Esta aplicação recorre à fusão de dados de altitude provenientes de sensores barométricos com dados de sensores inerciais. Os dados provenientes dos sensores barométricos são convertidos para altitude através da fórmula barométrica antes de serem usados em conjunto com os dados dos sensores inerciais. Ambos os sensores são aplicados em pacientes vítimas de ataque cardíaco. Neste trabalho é quantificado o melhoramento do reconhecimento de quando os sensores inerciais (acelerómetro e giroscópios) são combinados com sensores barométricos. Os resultados deste estudo demonstram que uma combinação de sensores barométricos e inerciais são a configuração com melhores resultados em relação a outras configurações testadas.

Numa outra vertente, não tanto relacionada com implementações em concreto, foi levado a cabo um estudo cujo principal objetivo era demonstrar a aplicabilidade da pressão barométrica para prover uma estimativa absoluta da elevação [37]. Este estudo comprometeu-se a avaliar os períodos em que as pessoas estavam sentadas ou de pé durante as suas atividades diárias e as conclusões a que se chegaram foram que os sensores barométricos comercialmente disponíveis podem discriminar transições entre sentar e levantar de uma posição estacionária com 99,5% de precisão e são capazes de dissociar completamente transições *Sit to Stand* e *Stand to Sit*.

Também na área da medicina, em [27] é descrita uma aplicação cuja motivação era encontrar um método eficiente e fácil de implementar para a medição de altitude em aplicações médicas. A abordagem consistiu no uso de sensores barométricos, um usado como referência e outro usado colado ao corpo humano para serem calculadas as diferenças dos valores retornados por ambos e assim tirar ilações. Os dados provenientes dos sensores, antes de serem usados na fórmula barométrica para o cálculo de altitude, foram filtrados por um filtro passa-baixo, tendo-se concluído que tal levou a um aumento da eficiência.

Em [40] é retratada uma aplicação que tem como motivação o *boom* dos veículos aéreos não tripulados, também conhecidos por *drones*. Propôs-se a implementar algoritmos de controle para a resolução do problema da medição dos movimentos verticais. A implementação de uma solução

passou pelo uso de dois sensores barométricos, um na plataforma voadora e outro à superfície terrestre a ser usado como controlo. Os testes basearam-se em diferenças de altitude calculada usando diferença de pressão dos dois sensores após a aplicação da fórmula barométrica derivada para retornar a altitude.

Além dos dados dos sensores barométricos foram também recolhidos dados de um sensor ultrassónico, que foram posteriormente fundidos resultando numa solução que se mostrou eficaz na medição de movimentos verticais. Esta fusão permitiu operações como aterragens e descolagens na vertical sem necessidade de qualquer outro tipo de sensor ou comunicação entre o veículo aéreo não tripulado e a estação de controlo no solo.

Em termos de aplicações *Android* que se propõe a calcular a altitude através de dados do sensor barométrico podemos destacar três, que podem ser distinguidas pela forma como fazem a recolha dos dados provenientes das estações **METAR**.

Sensitive Altimeter [6] é uma aplicação *Android* que calcula a altitude relativa a uma pressão introduzida ou medida pelo sensor barométrico. O cálculo da altitude realiza-se com base nos dados provenientes do sensor barométrico do *smartphone* em conjunto com informação de pressão de referência, nomeadamente ao nível médio do mar. Usa os serviços da **NOAA** para ajustar automaticamente as definições do altímetro quando se verifica uma ligação à Internet. A informação relativa à pressão de referência proveniente da **NOAA** resume-se à estação **METAR** mais próxima caso seja instalado um software adicional, no entanto existe também a possibilidade do utilizador introduzir uma estação meteorológica à escolha através do seu código de localização da **ICAO**. Esta aplicação não recorre a informação de altitude do *Global Positioning System (GPS)*.

Altímetro Preciso Livre [2] é uma aplicação que também dispõe de um serviço *online* e *offline*. Estima a elevação recorrendo a três diferentes métodos; pode usar triangulação **GPS**, resultando num funcionamento lento e pouco preciso, porém não impõe que o dispositivo disponha de uma conexão à Internet. Pode calcular a elevação do solo na posição atual, apresentando valores mais próximos dos reais, mas exigindo conexão com a Internet e só consegue operar caso o dispositivo se encontre ao nível do solo. Por fim pode usar o sensor de pressão do dispositivo e recorrer a valores de referência da estação meteorológica mais próxima para o calibrar caso exista conexão à Internet, garantindo os melhores resultados quando atua neste modo.

Sendo que ambas as aplicações anteriores se limitam a dar uso dos dados de pressão que o próprio sensor do *smartphone* em conjunto com dados de referência da uma estação meteorológica, idealmente a mais próxima, a aplicação *Altimeter* [24] inovou no sentido em que realiza o cálculo de altitude através do uso de várias estações meteorológicas para a obtenção do valor de referência para a pressão, com possibilidade de escolha no método de interpolação usado para as selecionar.

Esta aplicação inclui três modos de operação; no modo *Online* permite escolher o tipo de interpolação a realizar e consoante a escolha seleciona determinadas estações **METAR**. Quando é usada triangulação de *Delanay* como método de interpolação espacial para seleção das estações **METAR** garante melhores resultados. Ao funcionar neste modo, a aplicação solicita a localização

Tabela 2.1: Comparação das aplicações *Android* para cálculo de altitude

	Tecnologias		Estações METAR de referência
	GPS	Barômetro	
<i>Sensitive Altimeter</i>	Não	Sim	Estação mais próxima
Altímetro Preciso Livre	Sim	Sim	Estação mais próxima
<i>Altimeter</i>	Não	Sim	Interpolação de várias estações mais próximas

do serviço *android*. Quando tem a localização disponível solicita o relatório **METAR** com informação meteorológica dentro de uma distância predefinida. De seguida calcula a distância entre as estações e a posição corrente. O próximo passo consiste na aplicação do método de interpolação predefinido nas configurações dos dados recebidos das estações **METAR** selecionadas com os dados dos sensores barométricos, suavizados por um filtro passa-baixo. O cálculo final da altitude resume-se à aplicação da fórmula barométrica da figura 2.4.

Ao funcionar no modo *Point-to-Point* fornece a possibilidade de calcular a distância vertical a um ponto especificado. Usa dados do sensor barométrico filtrados por um filtro passa-baixo de uma posição previamente armazenada para calcular a diferença com a posição atual. Por fim, o modo *Calculator* disponibiliza a possibilidade da aplicação da fórmula barométrica a valores de pressão e temperatura introduzidos pelo utilizador.

Em termos de configurações, a aplicação *Altimeter* permite alterar não só o método de interpolação anteriormente referido mas também a frequência de sincronização e a unidade de medição. Além disso permite a introdução de um *offset* para calibração do sensor barométrico do dispositivo.

Na tabela 2.1 é feito um resumo da comparação entre as diferentes aplicações *Android* mencionadas anteriormente. Comparação essa que as distingue nas tecnologias usadas para o cálculo da altitude, nomeadamente no uso de dados proveniente do sensor barométrico ou do sensor **GPS**. Além disso compara também a forma como o valor de referência para a pressão é obtido, através das estações **METAR** de referencia usadas.

Capítulo 3

Arquitetura do sistema

Ao longo deste capítulo é realizada a apresentação da arquitetura do sistema implementado. Começa por fazer uma descrição geral do servidor implementado e dos seus constituintes, bem como os serviços disponibilizadores de dados meteorológicos externos e termina com uma apresentação da estrutura da aplicação *Android* que interage com o servidor.

A solução implementada no decorrer deste trabalho de investigação consiste num *software* que além da recolha de dados de previsão e observação, procede à sua agregação e funciona em conjunto com um cliente *Android*, apresentando uma solução para o cálculo de altitude baseada na pressão barométrica. As interações entre estes dois integrantes do sistema, bem como as interações com os serviços fornecedores de valores de referência para o cálculo da altitude fazem-se como a figura 3.1 retrata.

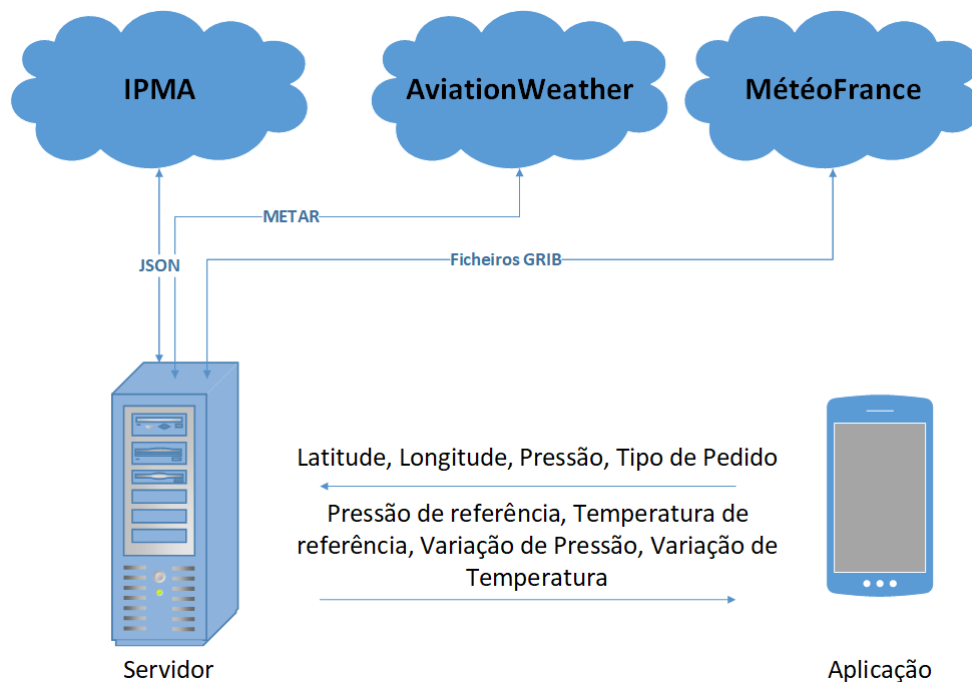


Figura 3.1: Sistema implementado

Em termos funcionais, a primeira interação realiza-se do cliente para o servidor, aquando do envio de um pedido com parâmetros de latitude, longitude, pressão e tipo de pedido. Após a receção do pedido do cliente, o servidor computa valores de pressão, temperatura, variação de pressão e variação de temperatura recorrendo a dados de referência dos serviços da *MétéoFrance*, *Aviation Weather Center* (**AWC**) e Instituto Português do Mar e Atmosfera (**IPMA**).

Destes três serviços, a *MétéoFrance* envia a informação em formato *General Regularly-distributed Information in Binary form* (**GRIB**), a **AWC** organiza os relatórios *Meteorological Aerodrome Report* (**METAR**) em XML e o **IPMA** reporta valores medidos nas suas estações codificados em *JSON*.

A interação termina com o envio dos valores computados para o cliente, onde é calculado o valor final de altitude.

3.1 Servidor

Tendo em vista a recolha e tratamento de dados relativos aos valores de referência a ser usados na fórmula barométrica, nomeadamente valores de pressão e temperatura, foi implementado um servidor desenvolvido na linguagem *Python*.

É um *software* construído para ser autónomo, permanecendo disponível para receber pedidos de utilizadores que usem a aplicação *Android* e ao mesmo tempo recolhendo em paralelo ficheiros de previsões para garantir que os valores de referência calculados e disponibilizados são os mais recentes.

O cálculo do valor de referência para a pressão e para a temperatura foi implementado através de quatro métodos distintos com vista a realizar um estudo comparativo dos respetivos desempenhos.

- O primeiro método calcula o valor de referência recorrendo apenas a ficheiros de previsões. O valor de temperatura e pressão reportado corresponde ao resultado de uma pesquisa num ficheiro de previsões por dados relativos às coordenadas geográficas de um ponto de interesse.
- O segundo método combina dados de previsão obtidos da mesma forma que o método referido anteriormente com dados de observações reportados pelas estações **METAR** mais próximas do ponto de interesse. A forma como a junção dos dados de previsão e observação está refletido na figura 3.2.
- O terceiro método realiza também assimilação de dados de previsão com dados de observações, porém o valor das observações é proveniente da estação meteorológicas do **IPMA** mais próxima do ponto de interesse. Este método aplica também o sistema exemplificado na figura 3.2.

- O quarto método não utiliza dados de previsões, o cálculo do valor de referência para pressão e temperatura corresponde ao valor reportado pela estação **METAR** mais próxima do ponto de interesse. Este método corresponde ao estado da arte antes da realização deste trabalho, excetuando o software *Altimeter*, tendo sido incluído para permitir fazer um estudo comparativo.

Dois dos métodos implementados combinam dados de previsão com dados de observação da forma exemplificada na figura 3.2. A título de exemplo, são apresentadas quatro estações meteorológicas e um ponto de interesse correspondente à localização de um utilizador. Para cada estação, bem como para o ponto de interesse, existem dados de previsão provenientes do ficheiro **GRIB**.

O valor da pressão calculada é dependente do valor proposto de cada estação meteorológica. Neste caso é considerada a média dos valores propostos por cada estação.

O cálculo do valor proposto por cada estação provém da utilização dos valores de previsão bem como de valores observados na localização da estação. O valor proposto por cada estação corresponde ao valor observado nessa mesma estação, adicionando a diferença entre a previsão no local da estação e o ponto de interesse, simulando assim uma “observação” no local onde se quer calcular a pressão.

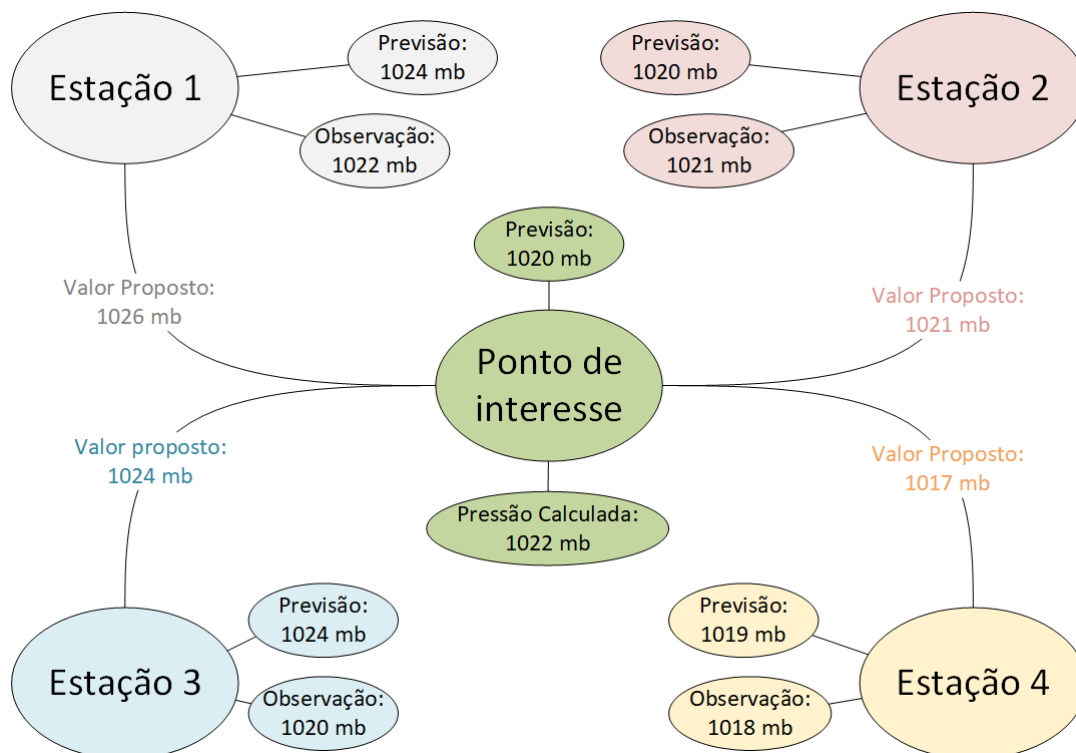


Figura 3.2: Exemplo de combinação de dados de observações e previsões para pressão atmosférica

3.1.1 Recolha de dados de observações

A metodologia idealizada para recolher dados de observações de diferentes estações meteorológicas consistiu em encontrar um serviço agregador de informação, com vista a agilizar o processo de pesquisa. Foram tidos em conta diversos serviços e chegou-se à conclusão que o que mais se adequava era o serviço disponibilizado pelo **AWC** pela facilidade de acesso aos dados que este serviço disponibiliza.

O **AWC** permite o acesso aos seus dados através de pedidos *Hypertext Transfer Protocol* (**HTTP**) configuráveis permitindo assim a adaptação do pedido ao tipo de dados que se pretendem receber.

```
"httpparam?dataSource=metars&requestType=retrieve&format=xml&radialDistance=100;-8,41&hoursBeforeNow=1"
```

Os parâmetros acima apresentam as configurações de um pedido realizado a este serviço agregador de observações. Neste exemplo concreto, o pedido especifica o parâmetro *dataSource*, filtrando os dados e fazendo com que os dados retornados sejam somente os dados relativos a *reports METAR*. O formato especificado para o pedido neste caso foi o XML. *radialDistance* é um parâmetro que define uma circunferência com centro na latitude e longitude enviadas também como parâmetro e define um raio em seu redor, recolhendo *reports* de estações **METAR** no seu interior. Neste caso foi criado um raio de 500 km em torno da latitude -8° e longitude 41° . Por último, *hoursBeforeNow* define o intervalo de tempo onde serão contemplados *reports METAR*. Neste pedido são excluídos *reports* com mais de 1h.

3.1.2 Formato METAR

```
Data at: 1444 UTC 23 Sep 2017
METAR for: LPPR (Porto/Cameriro Arpt, --, PO)
Text: LPPR 231430Z 27006KT 220V290 9000 3800N PRFG BKN002 BKN005 16/15 Q1020
Temperature: 16.0°C ( 61°F)
Dewpoint: 15.0°C ( 59°F) [RH = 94%]
Pressure (altimeter): 30.12 inches Hg (1020.0 mb)
Winds: from the W (270 degrees) at 7 MPH (6 knots; 3.1 m/s)
Visibility: 6 sm ( 9 km)
Ceiling: 200 feet AGL
Clouds: broken clouds at 200 feet AGL, broken clouds at 500 feet AGL
Weather: PRFG (partial fog)
```

Figura 3.3: Exemplo de report METAR da estação LPPR [8]

METAR é o formato standard usado em todo o mundo e o único aprovado pela *World Meteorological Organization* (**WMO**) para o *report* de condições atmosféricas. Este formato tem como característica o facto de ser bem estruturado (ver exemplo da figura 3.3).

Toda a informação presente na figura 3.3 pode ser enviada com diferentes tipos de codificação

```

▼ <METAR>
  ▼ <raw_text>
    LPPR 231430Z 27006KT 220V290 9000 3800N PRFG BKN002 BKN005 16/15 Q1020
  </raw_text>
  <station_id>LPPR</station_id>
  <observation_time>2017-09-23T14:30:00Z</observation_time>
  <latitude>41.22</latitude>
  <longitude>-8.67</longitude>
  <temp_c>16.0</temp_c>
  <dewpoint_c>15.0</dewpoint_c>
  <wind_dir_degrees>270</wind_dir_degrees>
  <wind_speed_kt>6</wind_speed_kt>
  <visibility_statute_mi>5.59</visibility_statute_mi>
  <altim_in_hg>30.11811</altim_in_hg>
  <wx_string>PRFG</wx_string>
  <sky_condition sky_cover="BKN" cloud_base_ft_agl="200"/>
  <sky_condition sky_cover="BKN" cloud_base_ft_agl="500"/>
  <flight_category>LIFR</flight_category>
  <metar_type>SPECI</metar_type>
  <elevation_m>73.0</elevation_m>
</METAR>
▼ <METAR>

```

Figura 3.4: Exemplo de um report **METAR** codificado em XML [9]

(XML, JSON, etc.). Quando a informação é organizada num ficheiro XML apresenta o aspeto da figura 3.4.

A informação relevante para este trabalho de investigação encontra-se descrita na *tag raw text* e corresponde aos seguintes parâmetros:

- LPPR

As primeiras quatro letras correspondem ao código identificador do local onde o *report* meteorológico é originado. Neste caso, o identificador corresponde à estação meteorológica presente no Aeroporto Francisco Sá Carneiro, localizado no Porto.

- 231430Z

De seguida está apresentada a informação acerca da hora do relatório, dividida em duas partes: os primeiros dois dígitos são identificativos do dia do mês corrente, neste caso indicando que o relatório é relativo ao dia 23. Os restantes dígitos especificam a hora a que o relatório foi feito no fuso horário Universal (UTC), neste caso o relatório foi feito às 14 horas e 30 minutos.

- 16/15

Os dados de temperatura e ponto de orvalho são apresentados por esta ordem, em graus *Celsius*. Neste exemplo é apresentada uma temperatura de 16°C e um ponto de orvalho de 15°C.

- Q1020

O último conjunto de dados reportados corresponde à pressão barométrica da estação. Dependendo do local onde a estação se encontra, o relatório pode utilizar unidades de “Inches of Mercury” (InHg) ou hectoPascais (hPa). Neste caso a pressão foi reportada em hectopascas, apresentando um valor de 1020 hPa, correspondendo a um valor de 30.12 InHg.

3.1.3 Recolha de dados de previsões

A recolha de dados de previsões faz-se através de pedidos **HTTP** à MétéoFrance, configurados com parâmetros como exemplificado no pedido:

```
"model=ARPEGE&grid=0.1&package=SP1&time=00H12H&referencetime=TIME"
```

Neste mesmo pedido é especificado o modelo meteorológico escolhido, neste caso o modelo *Action de Recherche Petite Echelle Grande Echelle* (**ARPEGE**) já descrito anteriormente. Além disso é também especificado o formato do output e a definição, grib2 e 0,1^o respetivamente.

A organização dos dados meteorológicos num ficheiro **GRIB** faz-se em binário. **GRIB** é um formato utilizado na meteorologia para armazenar e simplificar a manipulação de informações do estado da atmosfera.

GRIB versão 2 é uma atualização da primeira versão que inclui mais detalhes nos meta-dados do ficheiro em si, facilitando a compreensão dos dados presentes no ficheiro. As diferenças entre estas duas versões estão explícitas na figura 3.5.

GRIB 1	GRIB 2
SECTION 0 Indicator (GRIB)	SECTION 0 Indicator(GRIB,...)
SECTION 1 Product definition	SECTION 1 Identification
SECTION 2 Grid Description	SECTION 2 Local Use
	SECTION 3 Grid Definition
	SECTION 4 Product Definition
	SECTION 5 Data Representation
SECTION 3 Bitmap	SECTION 6 Bitmap
SECTION 4 Binary Data	SECTION 7 Binary Data
SECTION 5 End (7777)	SECTION 8 End (7777)

Figura 3.5: Diferenças entre **GRIB** v1 e v2

A MétéoFrance, ao disponibilizar o ficheiro de previsões **ARPEGE** permite a escolha de duas medidas para a definição sua grelha, GLOB05 e EURAT01.

A figura 3.6 demonstra a diferença entre as duas definições disponíveis no **ARPEGE**. À direita, a definição GLOB05 apresenta uma cobertura global, com 0.5^o de definição e à direita, EURAT01 apresenta uma definição de 0.1^o e cobre a área da Europa, garantindo assim uma definição mais “fina” uma vez que com 0.1^o existem valores de previsão a cada 15km aproximadamente, já com 0.5^o só a aproximadamente 55km [21].

Um ficheiro **GRIB** é composto por diferentes mensagens referentes a diferentes localizações na atmosfera. O parâmetro SP1 do pedido exemplificado na secção 3.1.3 agrupa valores relativos

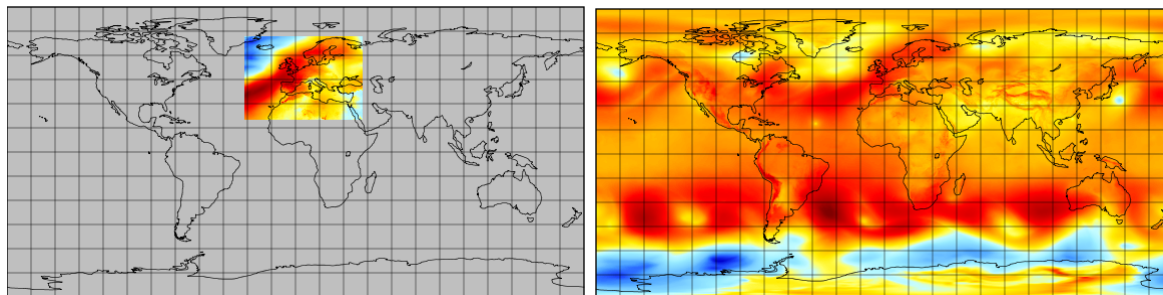


Figura 3.6: Cobertura de um ficheiro **GRIB** com definição EURAT01 e GLOB05 - Imagem obtida através do software Panoply [20]

à pressão relativa ao nível do mar, temperatura, velocidade de diferentes componentes do vento bem como a sua direção, humidade relativa, nebulosidade total, quantidade total de precipitação, entre outros campos.

Um ficheiro **GRIB** com definição EURAT01 apresenta dados relativos a 12 horas de previsões, já um ficheiro GLOB05 apresenta dados relativos a 24 horas de previsões [21].

A organização dos dados relativos a cada componente meteorológico faz-se por grelhas. A figura 3.7 exemplifica a organização dos dados de previsão para a temperatura do ar. Como se pode observar, para cada instante de tempo é gerada uma matriz organizada em termos de latitude e longitude.

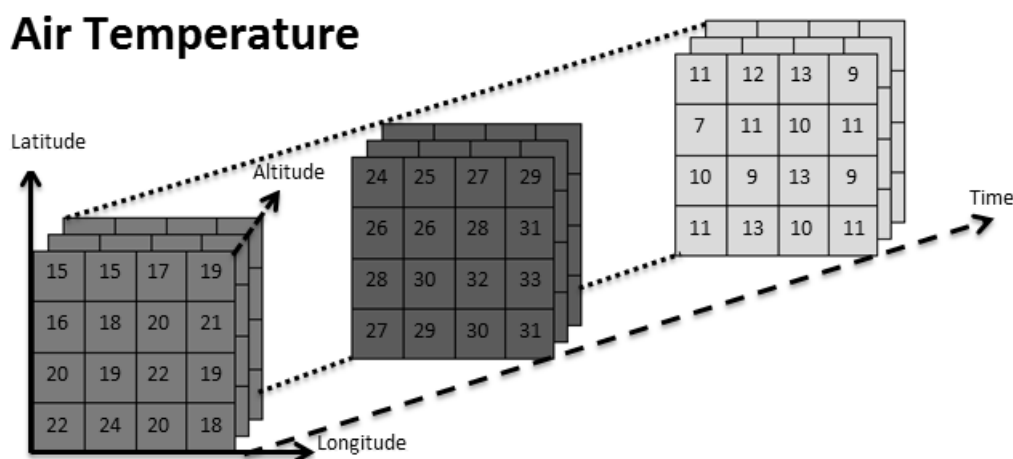


Figura 3.7: Estrutura em grelhas do ficheiro **GRIB** [14]

A cada dia são gerados e disponibilizados quatro ficheiros de previsão, com frequência de 6h. Assim sendo, existe um ficheiro de previsões para as 0h, 6h, 12h, e 18h UTC. Tendo em conta que se está a tratar de um processo que envolve um grande número de observações que necessitam de ser tratadas e assimiladas, considera-se um período de cerca de 4h para que os ficheiros fiquem disponíveis para análise, fazendo com que o ficheiro de previsões relativo às 0h fique disponível às 3h50 UTC, a previsão das 6h seja disponibilizado às 10h35 UTC, a previsão das 12h às 15h25 UTC e a previsão das 18h às 22h35 UTC [11].

3.1.4 *Python* e ficheiros GRIB

Tendo em vista a manipulação de ficheiros GRIB em termos computacionais, foi estudado o módulo *Python* que permite leitura e escrita de ficheiros GRIB denominado Pygrib.

Este módulo fornece uma interface com um conjunto de funções que permitem abrir e aceder aos dados presentes nas grelhas dos ficheiros GRIB [22].

Para a manipulação direta dos ficheiros é utilizada a GRIB-API. Esta corresponde a uma interface acessível a partir de software na linguagem C, FORTRAN e *Python* desenvolvidos para codificação e descodificação das mensagens GRIB versão 1 e 2 [13].

3.1.5 Fórmula de Haversine

A forma encontrada para calcular distâncias entre latitudes e longitudes no decorrer deste trabalho de investigação consistiu na aplicação da formula de Haversine. Esta fórmula é uma equação utilizada na navegação que calcula distância entre dois pontos numa esfera através da sua latitude e longitude [29].

A fórmula de Haversine retorna a distância mínima entre dois pontos numa superfície esférica usando latitude e longitude [29]. Na aplicação aqui feita, a superfície esférica a considerar é a superfície terrestre, e é nela onde são calculadas distâncias entre pontos de interesse e localizações geográficas de estações meteorológicas.

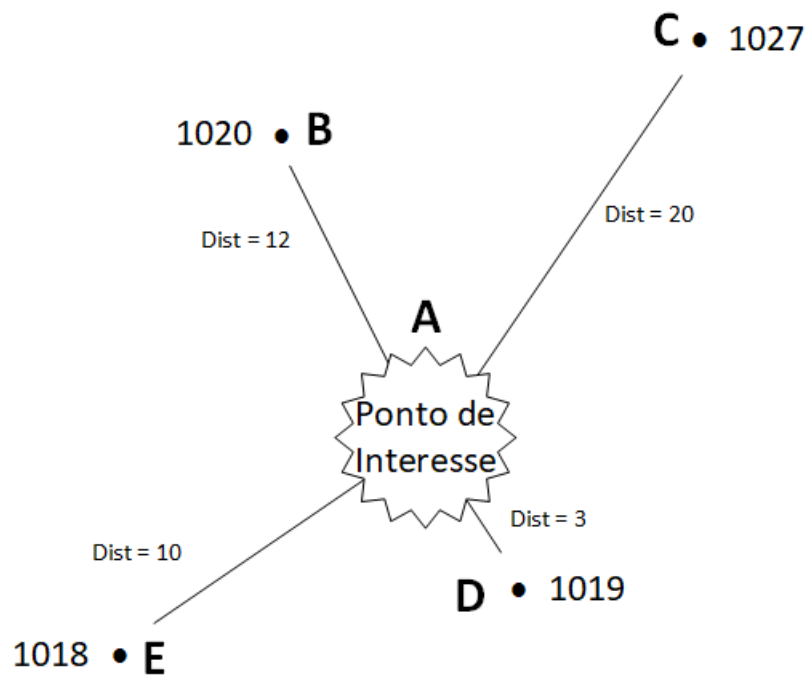
3.1.6 Interpolação Inverse Distance Weighted

Os dados provenientes de observações, nomeadamente de estações IPMA e estações METAR, não têm uma disposição espacial como os dados de previsão que são regularmente distribuídos numa grelha. Em várias áreas que utilizam valores empíricos, é necessário recorrer à interpolação a partir de dados espaçados irregularmente.

Desse facto surgiu a necessidade de encontrar um método para ajustar os valores obtidos através de estações IPMA e METAR de acordo com a sua distância ao ponto de interesse que corresponde à localização do utilizador. A forma encontrada para solucionar esse problema foi a utilização do método de interpolação *Inverse Distance Weighted (IDW)*, exemplificado na figura 3.8.

IDW assume que duas localizações próximas têm mais influência uma na outra do que duas localizações mais distantes entre elas. Em termos de condições atmosféricas isso é aplicável uma vez que as condições atmosféricas se comportam de forma irregular para dois pontos a uma grande distância.

Para prever um valor numa localização onde não existe uma observação, IDW utiliza os valores medidos em redor do ponto de interesse. Os valores medidos mais próximos do local



$$P_A = \sum((P/d) / (1/d))$$

$$P_A = 1021.4$$

Figura 3.8: Exemplo figurativo da interpolação IDW

de previsão têm mais influência sobre o valor previsto que os mais distantes. Este tipo de interpolação assume que cada ponto medido tem uma influência local que vai diminuindo com a distância. É atribuído um peso mais elevado aos pontos mais próximos do local de predição, e os pesos diminuem como função da distância.

Os pesos atribuídos são proporcionais ao inverso da distância elevado a uma potência p . Como resultado, à medida que a distância aumenta, os pesos diminuem a uma taxa dependente dessa mesma potência. Quando $p = 0$, não há diminuição com a distância, a previsão será a média de todos os valores de dados na vizinhança de pesquisa. À medida que p aumenta, os pesos para pontos distantes diminuem rapidamente. Se o valor p for muito alto, apenas os pontos imediatamente mais próximo influenciam a previsão.

3.1.7 Licença Dados

Tendo em conta que se está a aceder a dados de uma entidade externa foi tida em conta a licença de acesso aos dados do fornecedor dos dados. Como se pode ler na licença disponibilizada pela MétéoFrance, qualquer pessoa é livre de reproduzir, copiar, publicar, transmitir, distribuir e

redistribuir, adaptar, modificar, recuperar e transformar a informação. Além disso, permite também aproveitar as informações para combinar com outros dados provenientes de outras fontes e incluir no próprio produto ou aplicação, estando sujeito a mencionar a fonte dos dados e a data da última atualização [18].

3.2 Aplicação Android

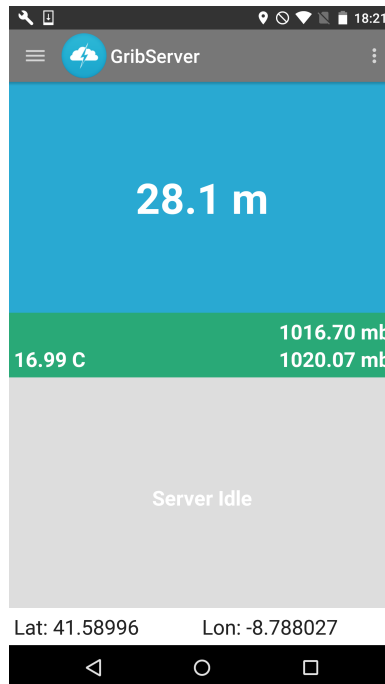


Figura 3.9: Interface da aplicação Altimeter

O componente complementar do servidor descrito na seção anterior é uma aplicação construída em *Android* nativo. A aplicação é o resultado da adaptação da aplicação Altimeter desenvolvida num projeto anterior, tendo sido acrescentado um módulo que permite que a mesma funcione como cliente do servidor implementado.

Foi desenvolvido um módulo que acrescenta o acesso aos diferentes métodos para o cálculo da pressão e temperatura de referência implementados no servidor acima mencionado. A aplicação funciona como interface do utilizador do sistema implementado.

O principal propósito da aplicação é a realização do cálculo final da altitude, juntando os dados de referência que recebe do servidor com os dados que obtém do sensor de pressão do dispositivo móvel.

Como se pode verificar na figura 3.9, a aplicação apresenta um conjunto de informações ao utilizador, nomeadamente:

- Altitude

Altitude calculada através da fórmula barométrica, dando uso à pressão de referência que recebe do servidor bem como à temperatura.

- Temperatura

A temperatura que recebe do servidor referente à posição atual do utilizador.

- Pressão no local

Pressão barométrica medida pelo sensor barométrico do dispositivo móvel no local onde o cálculo da altitude é realizado.

- Pressão de referência

Pressão barométrica calculada pelo servidor, neste caso relativo ao método que combina dados de observações com dados de previsões.

- Estado do servidor

Indicador do estado das comunicações com o servidor, apresentando quando é que uma interação está a ser feita.

- Latitude / Longitude

Localização atual do utilizador em termos de latitude e longitude.

Capítulo 4

Implementação - Servidor

Este capítulo apresenta os detalhes de implementação relativos ao servidor implementado. São apresentados os métodos construídos para calcular altitude baseada em pressão atmosférica bem como os mecanismos que permitem ao servidor manter-se a receber pedidos de diferentes clientes.

A implementação deste trabalho de investigação levou à construção de um servidor na linguagem *Python* e de uma aplicação *Android* a funcionar em modo cliente em relação ao servidor.

O modo de funcionamento do sistema implementado implica que o servidor se encontre à escuta de pedidos provenientes de clientes que estejam a utilizar a aplicação *Android*. A resposta aos pedidos recebidos requer que o servidor armazene ficheiros de previsão para posterior consulta. Tendo a garantia que o ficheiro de previsões corresponde ao mais recente disponibilizado pela *MétéoFrance*, o servidor realiza consulta pelos valores de referência nesses mesmos ficheiros de previsão meteorológicas e só depois aplica os métodos implementados, assegurando assim que os dados relativos a previsões meteorológicas correspondem aos dados da última previsão efectuada pela *MétéoFrance*.

Para além dos ficheiros de previsões, o servidor acede também a dados relativos a observações, sendo este acesso realizado a duas fontes de dados distintas. Por um lado acede a dados de observações de estações meteorológicas *Meteorological Aerodrome Report (METAR)* (ex: aeroportos e aeródromos). Por outro acede a dados fornecidos pelo Instituto Português do Mar e Atmosfera (*IPMA*), referentes a medições das condições atmosféricas de estações meteorológicas a nível nacional.

A utilização dos dados mencionados anteriormente tem como objetivo calcular a pressão, temperatura, variação de pressão e de temperatura para o momento em que o servidor recebe um pedido de um cliente relativamente à sua localização. Este conjunto de valores é usado para dois fins; enviar para o cliente que realizou o pedido e registar num ficheiro de *logs* os dados relevantes para ser realizada uma análise do cálculo da altitude, tanto o cliente como o servidor realizam o cálculo da altitude. O cliente calcula a altitude para a apresentar ao utilizador e o servidor realiza o cálculo para guardar a informação no ficheiro de *logs*.

O cliente interage com o servidor realizando pedidos e aguardando pela resposta para calcular a altitude baseada na informação do seu sensor barométrico.

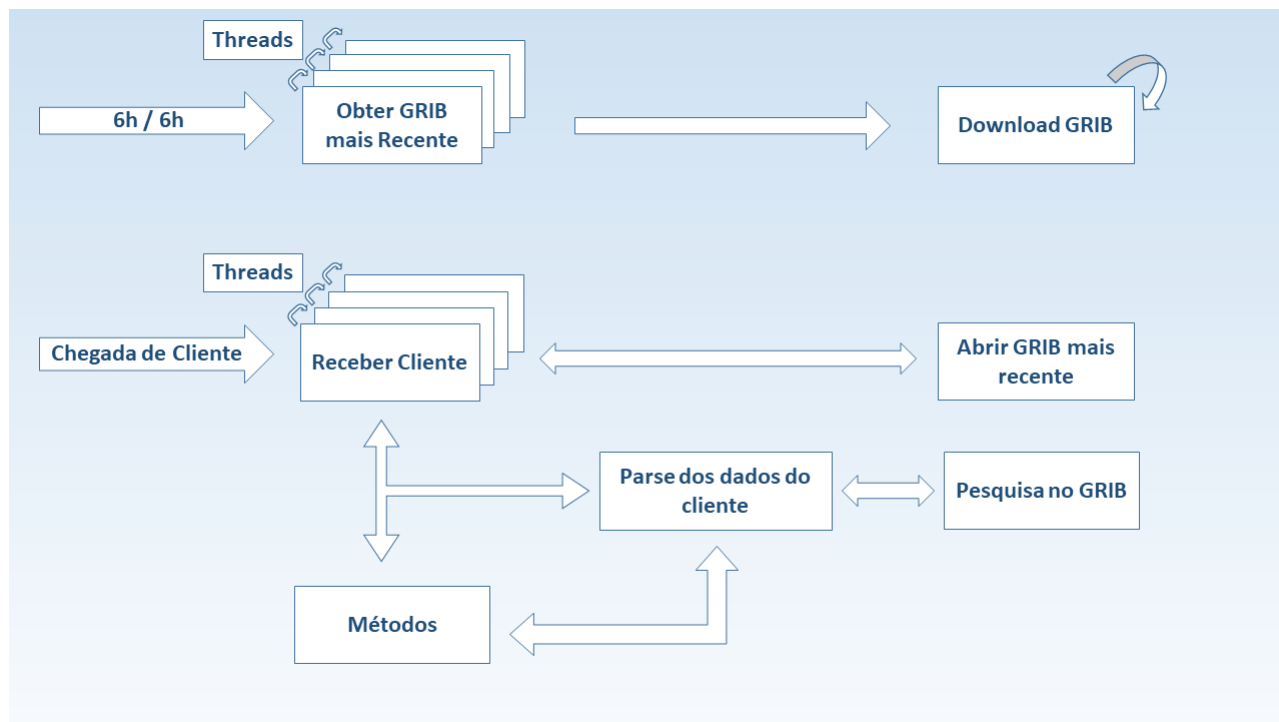


Figura 4.1: Arquitetura do Servidor

A construção do servidor responsável pela disponibilização de valores de referência para o cálculo da altitude envolveu num primeiro passo, uma ambientação à manipulação de ficheiros de previsão em formato *General Regularly-distributed Information in Binary form* (GRIB).

Para tal, foi estudado o módulo *Python* que permite leitura e escrita de ficheiros GRIB denominado Pygrib. Este módulo fornece um conjunto de funções que permitem abrir e aceder aos dados presentes nas grelhas dos ficheiros GRIB e assim conseguir utilizar o seu conteúdo.

A figura 4.1 retrata a arquitetura do sistema, cuja construção visou combinar dois subsistemas interligados. Um deles responsável pela disponibilidade de ficheiros de previsão atmosférica e outro a funcionar como servidor responsável por responder a pedidos de clientes. Ambos correspondem computacionalmente a *threads*, garantindo assim uma paralelização das tarefas de forma a aumentar a eficiência.

4.1 Recolha de dados de previsões

O mecanismo responsável pelo download e disponibilização dos ficheiros de previsão GRIB inicia-se aquando do servidor e funciona intermitentemente, isto é, ativa-se quando é necessário recolher um novo ficheiro GRIB, estando sincronizado com a hora de disponibilização de ficheiros de previsões. O seu fluxo de funcionamento é retratado na figura 4.2.

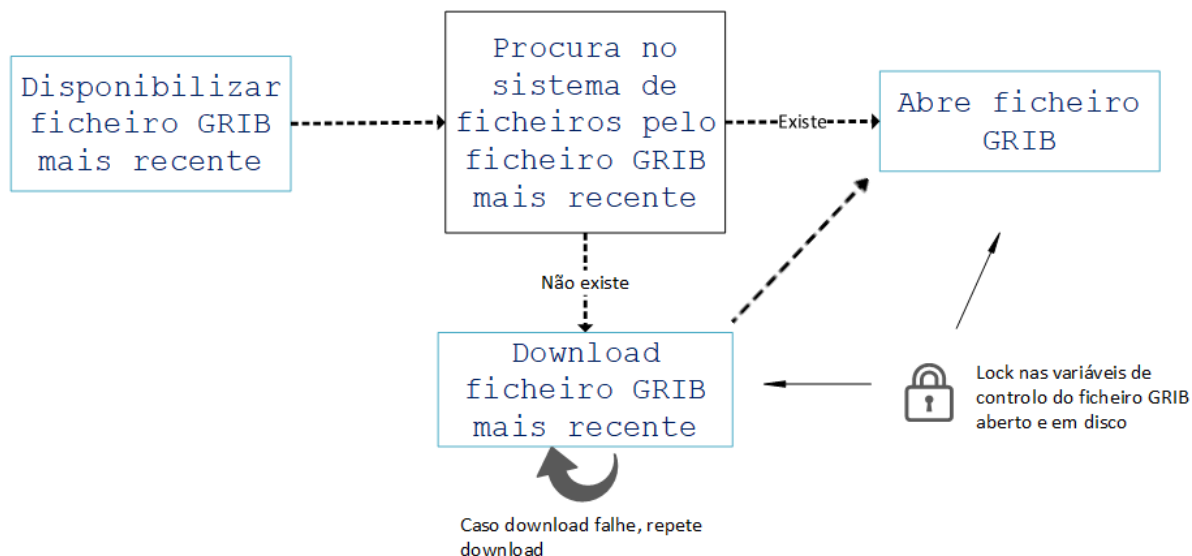


Figura 4.2: Atualização de ficheiros GRIB

No decorrer da sua execução é criada uma *thread* responsável por aceder aos dados do modelo *Action de Recherche Petite Echelle Grande Echelle (ARPEGE)* disponibilizados pela MétéoFrance. A frequência de execução da *thread* que realiza o download do ficheiro **GRIB** mais recente corresponde à frequência de disponibilização do ficheiro de previsões descrita em 3.1.3, tendo sido calibrada manualmente através do estabelecimento de um período temporal para contemplar possíveis atrasos por parte da plataforma que disponibiliza os dados.

Em termos concretos, esta função calcula a hora atual e dependendo da mesma gera o *link* para *download* do ficheiro mais recente.

De seguida é calculado o nome do ficheiro mais recente, que se baseia num *timestamp*, e é realizada uma pesquisa pelo nome do ficheiro no sistema de ficheiros. Caso ele já exista em memória é necessário abri-lo para o tornar disponível para os pedidos a ser recebidos pelo servidor.

Tendo em conta que a *thread* responsável por esta função vai executar concorrentemente com o servidor, foi usado um sistema de *locks* para garantir que o acesso à zona crítica é atómico. Assim sendo, e tendo em conta que podem ser alterar os ficheiros com definição 0.1° ou 0.5° separadamente foram criados dois *locks* que protegem a alteração do ficheiro **GRIB** aberto bem como a variável que indica o seu estado.

Caso o ficheiro não exista no sistema, é então realizado o download do ficheiro de previsões. Posteriormente é realizada a sua abertura e também a atualização de variáveis de controlo para informar todo o sistema que o ficheiro mais recente passou a ser o que acabou de ser atualizado.

O download do ficheiro em si é realizado numa *thread* em separado com vista a garantir a completude do processo, uma vez que é necessário contemplar possíveis falhas na transferência e repeti-la caso sejam verificadas. Para garantir que o download é bem sucedido, foi usado um bloco *try-catch* e um sistema de download por pedaços (*chunks*) uma vez que estamos a lidar

com ficheiros relativamente grandes (40 Mb).

Por fim, a abertura do ficheiro passa por atribuir a duas variáveis globais o valor do *file descriptor* correspondente ao ficheiro com definição de 0.1° ou 0.5°.

4.2 Pedidos de clientes

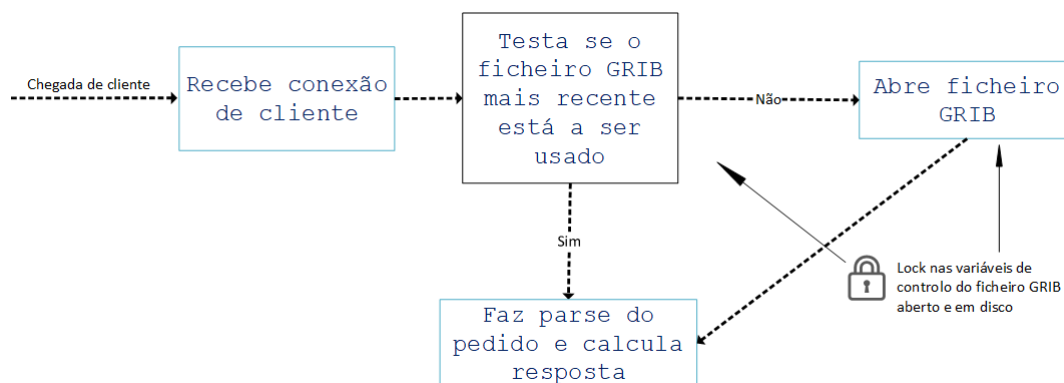


Figura 4.3: Tratamento da chegada de um cliente ao servidor

A figura 4.2 retrata o comportamento do servidor aquando da recepção de um pedido de um cliente. A cada conexão recebida, é gerada uma *thread* dedicada a esse pedido, fazendo com que o servidor tenha capacidade de paralelizar os pedidos e receber diferentes clientes em simultâneo. A implementação do servidor força a que os ficheiros de previsões sejam os mais recentes possíveis. Com a chegada de uma conexão é feito um teste de maneira a perceber se é necessário ativar o mecanismo de atualização do ficheiro **GRIB**.

O mecanismo de deteção do ficheiro mais recente baseia-se em *flags*. Foram criadas variáveis a funcionar como identificadores temporais dos ficheiros **GRIB** mais recentes guardado em disco e dos ficheiros que se encontram abertos no momento, tanto para ficheiros com definição 0.1° como 0.5°.

O valor destas variáveis corresponde à concatenação da data em que um ficheiro **GRIB** foi aberto ou guardado em disco. Quando é detetado que o identificador temporal de um ficheiro **GRIB** em disco é mais recente que um ficheiro **GRIB** aberto, é alterado o “file descriptor” para o ficheiro mais recente bem como o identificador correspondente ao ficheiro aberto.

Tendo a garantia de que se está a usar a versão mais recente dos dados recolhidos, é realizado o *parse* do pedido. Os pedidos provenientes da aplicação *Android* são constituídos por quatro parâmetros, sendo eles: latitude, longitude, tipo de pedido e pressão barométrica no local onde o pedido é feito.

Caso o teste do ficheiro mais recente indique que o ficheiro em disco é mais recente que o ficheiro que está a ser utilizado o mesmo é atualizado, e só depois a execução do método continua.

Independentemente do tipo de pedido, o passo posterior ao *parse* corresponde a uma pesquisa no ficheiro GRIB condicionada pelos parâmetros do pedido. A pesquisa utiliza o ficheiro GRIB de 0.1° ou 0.5° dependendo da latitude e longitude presente no pedido.

Como já foi referido em 3.1.3, o ficheiro GRIB com 0.1° oferece uma definição de grelha superior ao ficheiro com 0.5°, resultando em dados de previsões mais com maior densidade. Tendo isso em conta, quando as coordenadas geográficas do pedido estão contidas dentro dos limites do ficheiro GRIB com definição de 0.1° é usado o ficheiro com 0.1°. Caso contrário ou caso o ficheiro de 0.1° não se encontre disponível, é usado o ficheiro de 0.5°.

Existem diferentes modos para o funcionamento do servidor, dependendo do tipo do pedido realizado. O tipo de pedido é o parâmetro que especifica o comportamento do servidor. Caso o resultado requerido seja o valor de previsão para determinada latitude e longitude o servidor retorna de imediato a resposta e encerra a conexão com o cliente.

Além deste, foram implementados outros métodos que requerem a junção de dados de observações com os dados de previsões e que serão descritos mais tarde.

4.3 Pesquisa no Ficheiro GRIB

A pesquisa no ficheiro GRIB é parametrizada por quatro variáveis, duas delas são referentes a um par latitude e longitude que especifica a posição de um utilizador. A terceira variável corresponde a uma *flag* calculada aquando do *parse* dos dados do cliente e que identifica o ficheiro GRIB a ser utilizado na pesquisa.

Por fim, uma variável com o instante para o qual se quer obter dados retornados é também passada como input.

A pesquisa começa pela utilização da *flag* que identifica o ficheiro GRIB a ser usado descrito pelo *file descriptor* GR01 ou GR05. Com vista a controlar o número de *threads* que estão a dar uso a determinado ficheiro GRIB e consequentemente tornar o processo de atualização de ficheiros GRIB algo mais fácil de escalar foi levado a cabo um sistema de semáforos que mantém uma contagem atualizada de *threads* a usar determinado ficheiro GRIB.

Tendo em consideração que um ficheiro GRIB contém uma estrutura fixa e regular, o próximo passo consiste em aceder à matriz correspondente aos parâmetros que se pretendem obter como output, sendo eles pressão ao nível médio do mar e a temperatura. No ficheiro GRIB estes parâmetros correspondem a *Mean sea level pressure* e *2 metre temperature*.

Diferentes ficheiros GRIB podem apresentar diferente distância temporal entre os dados de previsões. O passo seguinte da pesquisa corresponde ao cálculo do passo temporal entre dois conjuntos de dados (*timestep*).

Segue-se o cálculo dos dois instantes de tempo para os quais se quer extrair dados de previsões.

O primeiro instante de tempo corresponde ao tempo recebido como input desta função, o segundo corresponde a esse mesmo instante acrescentado ao *timestep* calculado anteriormente.

Dataset: ARPEGE_0.1_SP1_00H12H_201709020600.grib2
 Variable: Pressure_msl, Pressure @ Mean sea level
 Units: Pa
 Slice: GRIB forecast or observation time [1 of 13] = 2017-09-02 06:

X-Axis: lon (degrees_east)

		360,5	360,6	360,7	360,8	360,9	361,0	361,1	361,2	361,3
40,6	9	102014,9	102032,9	102033,9	102033,9	102023,9	102003,9	101978,9	101958,9	
40,5	9	102030,9	102026,9	102025,9	102027,9	102019,9	102003,9	101982,9	101965,9	
40,4	9	102025,9	102030,9	102028,9	102022,9	102014,9	102003,9	101989,9	101977,9	
40,3	9	102028,9	102035,9	102027,9	102017,9	102009,9	102001,9	101992,9	101984,9	
40,2	9	102037,9	102033,9	102022,9	102012,9	102003,9	101995,9	101989,9	101984,9	
40,1	9	102032,9	102023,9	102013,9	102004,9	101995,9	101988,9	101983,9	101978,9	
40,0	9	102023,9	102015,9	102006,9	101997,9	101989,9	101983,9	101978,9	101974,9	
39,9	9	102017,9	102009,9	102000,9	101993,9	101988,9	101983,9	101978,9	101973,9	
39,8	9	102012,9	102006,9	102000,9	101995,9	101992,9	101988,9	101983,9	101978,9	
39,7	9	102010,9	102006,9	102002,9	101999,9	101996,9	101993,9	101988,9	101983,9	
39,6	9	102010,9	102007,9	102004,9	102001,9	101999,9	101995,9	101990,9	101984,9	
39,5	9	102010,9	102007,9	102005,9	102003,9	101999,9	101995,9	101991,9	101986,9	
39,4	9	102010,9	102007,9	102005,9	102002,9	101998,9	101996,9	101992,9	101987,9	
39,3	9	102009,9	102006,9	102004,9	102000,9	101998,9	101995,9	101991,9	101988,9	

Y-Axis: lat (degrees_north)

Figura 4.4: Grelha ficheiro GRIB 0.1° - Imagem obtida através do software Panoply [20]

Como se pode observar na 4.4, a diferença entre duas latitudes e longitudes é de 0.1°. Para calcular o valor de pressão e de temperatura nas coordenadas correspondentes à localização do cliente, é necessário proceder a uma interpolação espacial dos valores dos quatro pontos mais próximos no ficheiro GRIB. A metodologia utilizada foi a seguinte: para cada valor de latitude e longitude são contemplados dados relativos ao retângulo que os envolve, sendo realizada uma interpolação espacial com esses dados e correspondendo essa ao valor de pressão/temperatura final.

O retorno da pesquisa corresponde a um valor de temperatura, pressão, variação de temperatura e variação de pressão no intervalo de tempo definido pela frequência dos dados de previsão no interior do ficheiro GRIB. Para o cálculo do valor de variação de pressão e variação de temperatura recorre-se aos valores de previsão na hora atual e a previsão na hora seguinte, sendo que o resultado corresponde à diferença entre os valores de pressão e temperatura previstos para a hora atual e os valores de pressão e temperatura previstos para a hora seguinte.

4.4 Método com dados de previsão meteorológica

Um dos métodos implementados corresponde à aplicação da pesquisa anteriormente referida para calcular os valores de pressão, temperatura, variação de temperatura e variação de pressão.

Este método utiliza somente os valores de previsão para uma determinada localização do utilizador, realizando uma pesquisa na latitude e longitude correspondente e retornando o resultado dessa mesma pesquisa em formato *JSON*. A figura 4.5 apresenta o modo de funcionamento.

Como pode ser observado, este método recebe como input parâmetros de latitude e longitude referentes à localização do utilizador, bem como um identificador temporal. No seguimento da execução é efetuada uma pesquisa no ficheiro de previsões e é retornada a resposta com a informação extraída do mesmo.

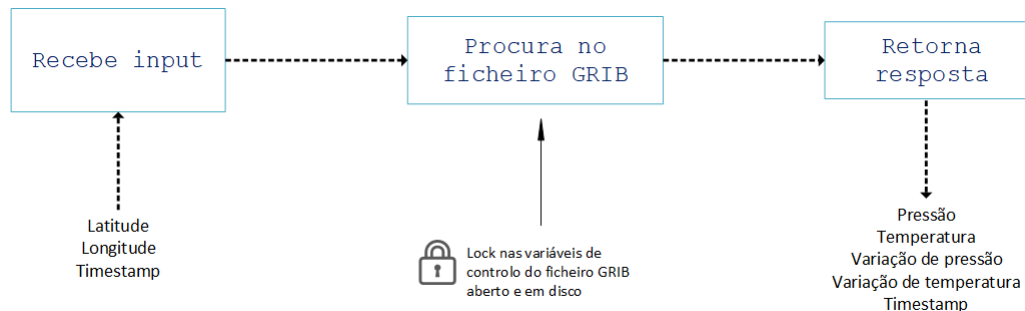


Figura 4.5: Fluxograma da execução do método com dados de previsão meteorológica

4.5 Download de observações em formato **METAR**

O download de dados relativos a observações em formato **METAR** é realizado através de uma funcionalidade que permite ao servidor aceder aos serviços do *Aviation Weather Center (AWC)*.

Os parâmetros do pedido realizado a este serviço agregador de observações meteorológicas utiliza variáveis globais definida a nível do servidor e compartilhadas por todos os clientes que interagem com o mesmo.

As variáveis correspondem ao raio em redor do ponto de interesse onde a pesquisa pela estação **METAR** é feita, bem como a quantidade de horas anteriores ao instante em que o pedido é feito acerca das quais que se pretendem recolher dados de observações.

Para cada estação situada no interior do raio definido, com centro no ponto de coordenadas latitude e longitude recebidas pelo utilizador, são guardados valores de latitude, longitude, identificador temporal de quando foi realizada a observação, identificador da estação, elevação, temperatura e pressão. A estrutura de dados escolhida para armazenar os valores foi um dicionário, com a finalidade de tornar as pesquisas mais eficientes.

Com vista a filtrar os relatórios das estações **METAR** e forçar com que seja somente considerado o último referente a cada estação, procedeu-se à eliminação de todos as entradas para a mesma estação com um tempo de observação anterior ao instante calculado.

O cálculo do instante para este passo de filtragem teve em conta a frequência dos relatórios **METAR**. Regra geral, estes relatórios são gerados com uma frequência de um ou dois por hora, dependendo da estação **METAR**, fazendo com que todos os relatórios referentes ao instante atual subtraído uma hora deixassem de fazer parte do conjunto de resultados.

O valor de retorno desta função corresponde à lista de dados de observações, sendo a lista

formada pelo conjunto das observações mais recentes para cada estação contemplada nas condições estabelecidas pelos parâmetros de entrada. Essa mesma lista é ainda ordenada por distância ao ponto de interesse.

4.6 Método com conjugação de dados de observações METAR e previsões meteorológicas

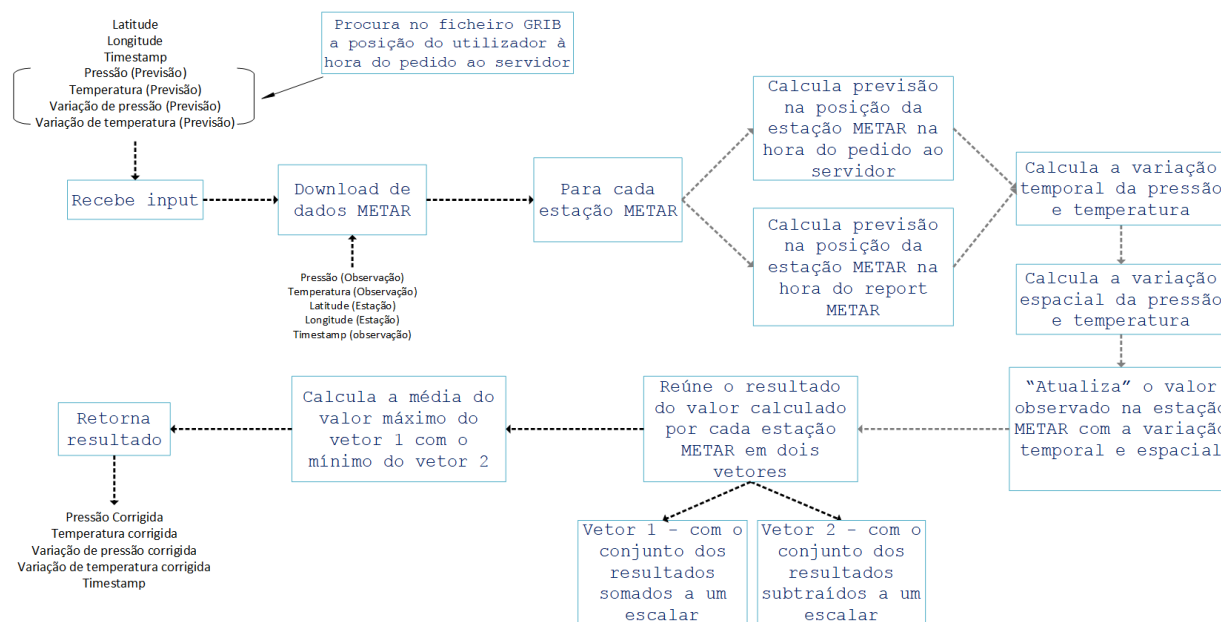


Figura 4.6: Fluxograma da execução do método com dados de previsão meteorológica e dados de observações METAR

A implementação deste método baseou-se na junção de dados de previsão com dados de observações e pode ser observado na figura 4.6. Como parâmetros de entrada, são considerados a latitude e longitude do ponto de interesse, o resultado da pesquisa inicial no ficheiro de previsões GRIB e um identificador temporal de quando o pedido foi realizado.

O algoritmo começa por fazer *parse* do resultado da pesquisa no ficheiro GRIB e armazenar os dados relativos à pressão e temperatura no ponto de interesse para posterior assimilação com os dados de observação. Para obter os dados de observação é utilizada a função responsável pelo download de informação de observações descrito em 4.5, à qual é passada a informação necessária para recolher dados de observações.

A partir do momento em que estão disponíveis os dados de observações, os passos que se seguem ocorrem de igual modo para cada conjunto de dados referente a cada relatório METAR presente no conjunto de dados retornado pela função responsável pelo download de dados de observações.

1. Começa-se por realizar uma pesquisa no ficheiro de previsões na latitude e longitude onde

se encontra a estação METAR na hora em que o relatório foi realizado, informação obtida no relatório através do identificador temporal da realização do mesmo.

2. De seguida é realizada nova pesquisa no ficheiro de previsões, desta vez referente ao instante atual, também na latitude e longitude onde se encontra a estação METAR.
3. Tendo dados de previsão no local da estação METAR à hora atual e à hora a que o relatório foi gerado, é calculada a sua variação temporal tanto da pressão como da temperatura. Para tal é subtraído o valor de pressão atual ao valor de pressão previsto à hora a que o relatório foi gerado.
4. Além da variação temporal, é também calculada a variação espacial. Para a calcular é realizada a diferença entre a o valor de previsão para temperatura e pressão no ponto geográfico onde o utilizador se encontra, e o valor de temperatura e pressão no local onde a estação METAR se encontra, sendo que este valor já se encontra corrigido com um desvio temporal, fazendo com que ambos os valores correspondam ao mesmo instante de tempo.
5. O próximo passo deste método é a correção dos valores de pressão e temperatura observados na estação METAR. Tendo em conta que o valor observado remonta para um instante temporal passado, começa-se por utilizar o valor da variação temporal, para de certo modo “atualizar” os valores reportados recorrendo a dados provenientes de previsões.
Neste ponto dispõe-se do valor observado na latitude e longitude da estação METAR já corrigido temporalmente e por isso mesmo referente ao instante atual.
6. Com vista a corrigir espacialmente esse mesmo valor, é usada a variação espacial calculada anteriormente, ficando então com o valor observado no momento atual e referente ao ponto de interesse que corresponde à localização do utilizador.

Os passos anteriores, sendo realizados para cada conjunto de dados referentes a uma estação METAR retornam um vetor com um valor de pressão e temperatura “proposto” por cada estação METAR. O passo final deste método tem como objetivo maximizar a precisão dos valores calculados, e comporta-se da seguinte forma:

1. Divide os valores propostos de pressão e temperatura de cada estação METAR por dois vetores, um deles com os valores propostos somado com o valor escalar 0.5 e outro com os valores propostos subtraindo o mesmo escalar. A razão para tal prende-se no facto de 0.5 corresponder a metade do erro presente no valor reportado pelas estações METAR.
2. Tanto para pressão como temperatura, calcula o valor máximo do vetor com os valores a que foi subtraído o escalar e o valor mínimo do vetor com os valores a que foi adicionado o valor escalar.
3. Aos dois valores calculados, é calculada a média e essa mesma média corresponde ao valor retornado por este método.

Além do valor de pressão e temperatura calculados da forma mencionada anteriormente, o método retorna valores de variação de pressão e variação de temperatura obtidos da pesquisa realizada no ficheiro de previsões no ponto de interesse bem como um identificador temporal de quando o pedido foi realizado ao servidor.

4.7 Método com conjugação de dados de observações IPMA e previsões meteorológicas

Este método tem como parâmetros de entrada a latitude e longitude correspondentes à localização do utilizador, bem como o resultado de uma pesquisa no ficheiro de previsões e o identificador temporal do instante em que o pedido foi feito.

Começa por realizar o *parse* dos valores de pressão, temperatura, variação de pressão e temperatura provenientes da pesquisa no ficheiro de previsões na localização correspondente à posição geográfica do pedido.

De seguida acede ao *website* do IPMA para fazer download dos dados de observações relativos ao último relatório das estações IPMA.

O serviço do IPMA aglomera os dados das estações meteorológicas dispersas pelo território português num ficheiro *JSP*. Esse ficheiro, que contém dados referentes à última observação reportada, é acedido posteriormente para realizar o seu *parse* e atualização de variáveis locais num dicionário constituído por valores referentes a latitude, longitude, identificador temporal do instante em que foi realizada a observação, identificador da estação, nome da estação, pressão e temperatura observados em cada estação.

Tendo os valores de pressão e temperatura previstos para o ponto de interesse (provenientes do ficheiro GRIB), bem como os valores observados das estações IPMA, segue-se a identificação da estação IPMA mais próxima do ponto de interesse, que se realiza baseada na fórmula de Haversine mencionada em 3.1.5.

Encontrada a estação IPMA mais próxima, segue-se o cálculo do valor previsto nas coordenadas geográficas da mesma, tanto no instante em que o pedido foi gerado como no momento em que o *report* foi gerado.

O IPMA reporta valores a cada hora, sendo que os valores reportados corresponde à média das observações obtidas no decorrer da hora anterior. Este facto fez com que fosse estabelecido que o instante referente ao *report* corresponderia ao identificador temporal presente no *report* do IPMA subtraído 30 minutos, com vista a contemplar esta média das observações.

O passo seguinte é o cálculo da variação temporal, que corresponde ao valor da previsão no instante atual subtraído ao valor da previsão no instante do *report*, tudo isto nas coordenadas geográficas da estação IPMA.

Assim como a variação temporal, a variação espacial é também calculada, sendo que esta corresponde à previsão já corrigida com a variação temporal na latitude e longitude onde se encontra a estação IPMA subtraída à previsão na latitude e longitude do ponto de interesse.

Os valores retornados são a variação de pressão e variação de temperatura provenientes da pesquisa no ficheiro de previsão GRIB, bem como o identificador temporal do pedido e dados de pressão e temperatura que correspondem ao valor reportado pela estação IPMA mais próxima corrigidos temporal e espacialmente.

A correção temporal faz-se aplicando ao valor de pressão e temperatura a diferença entre a previsão no momento atual e a previsão no momento em que o *report* foi originado. Já a correção espacial corresponde à aplicação da variação entre a previsão no ponto de interesse e a previsão no ponto onde se encontra a estação IPMA, ficando no final com um cálculo do valor observado na estação IPMA aplicado ao instante atual, e no ponto de interesse que corresponde ao ponto geográfico onde o utilizador se encontra.

4.8 Método com dados de observações da estação METAR mais próxima

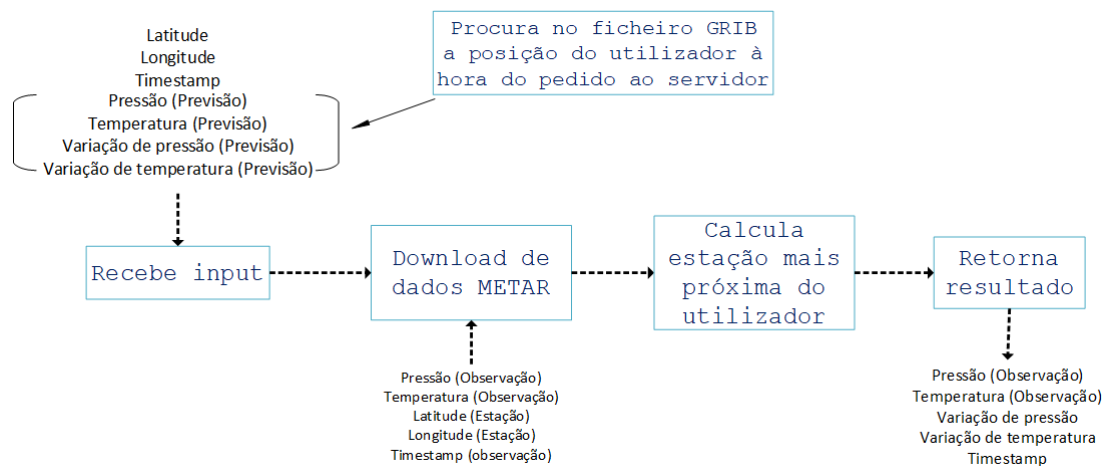


Figura 4.7: Fluxograma da execução do método com dados de observações da estação METAR mais próxima

Este método, como ilustrado na figura 4.7, recebe como parâmetros de entrada a latitude e longitude referente à localização do utilizador, o resultado de uma pesquisa inicial no ficheiro de previsões e um identificador temporal da hora do pedido.

No decorrer da sua execução, começa por fazer o *download* de dados de observações reportados pelas estações METAR mais próximas referentes a uma determinada distância radial, e filtradas num determinado range temporal, esta recolha realiza-se a cada pedido uma vez que o pedido realizado para o *download* de dados de observações é personalizável a cada pedido, nomeadamente no que toca à sua localização geográfica.

Para armazenar os dados de observações, recorre a um dicionário onde guarda valores de latitude, longitude, tempo de observação, identificador da estação, elevação, temperatura e pressão referentes a cada estação **METAR**.

O método prossegue com a filtragem dos dados de observações, para tal é gerado um *timestamp* a ser usado como *threshold*, consistindo no instante atual subtraído 1h. Este *threshold* tem em consideração a frequência dos *reports* das estações **METAR**, fazendo assim com que os *reports* a considerar tenham sido realizados na última hora. Esta filtragem vem também eliminar os dados referentes à mesma estação **METAR**.

O valor de retorno deste método consiste nos valores de variação de pressão e temperatura, num identificador temporal, e no valor de pressão e temperatura reportado pela estação **METAR** mais próxima da latitude e longitude do utilizador.

Para a determinação da estação **METAR** mais próxima é utilizada a formula de Haversine. A cada conjunto de dados relativos a uma estação é acoplada a distância da mesma ao ponto de interesse, e de seguida é escolhido o conjunto de dados que apresenta a menor distância ao ponto de interesse, sendo o seu valor de pressão e temperatura o valor retornado.

4.9 Combinação de métodos

Sendo esta uma prova de conceito, foi criado modo de funcionamento para o servidor de maneira a tornar a recolha de dados mais sistematizada e assim facilitar a análise.

Este modo de funcionamento corresponde a uma conjunção de todos os métodos anteriores mencionados. Quando o servidor recebe um pedido deste tipo, iterativamente executa cada um dos métodos implementados e retorna os valores de pressão e temperatura referentes ao método que assimila dados de observações **METAR**, **IPMA** e dados de previsões. Retorna também valores de variação de pressão e temperatura, bem como um identificador temporal de quando o pedido foi feito bem como o valor de altitude calculado pelo servidor para cada um dos métodos implementados.

4.10 Sistema de *logs*

Com o intuito de estudar o comportamento de cada um dos métodos implementados, foi criado um sistema que regista todas as interações do servidor com clientes.

Por cada resposta enviada a um cliente que interage com o servidor, uma entrada é criada no ficheiro de *logs*, entrada essa que é constituída por valores relevantes para a futura análise de performance de cada um dos métodos.

Como pode ser verificado na figura 4.8, cada entrada no ficheiro é constituída por oito parâmetros, sendo eles o tempo em que a interação com o servidor aconteceu, a origem do

```
Time:2017-09-05 20:49:47.677961,Source:59ceaea59b6b46348d3bdcd0d0feb8d2,Lat/Lon:41.15914,-8.604505,MSL Press:1022.9,MSL Temp:290.15,Pressure:1004.5451,Type:3,Altitude:153.52
Time:2017-09-05 20:49:47.677961,Source:59ceaea59b6b46348d3bdcd0d0feb8d2,Lat/Lon:41.15914,-8.604505,MSL Press:1023.1,MSL Temp:292.75,Pressure:1004.5451,Type:4,Altitude:156.56
Time:2017-09-05 20:49:47.677961,Source:59ceaea59b6b46348d3bdcd0d0feb8d2,Lat/Lon:41.15914,-8.604505,MSL Press:1023.1,MSL Temp:292.75,Pressure:1004.5451,Type:5,Altitude:156.56
Time:2017-09-05 21:19:47.668577,Source:59ceaea59b6b46348d3bdcd0d0feb8d2,Lat/Lon:41.15914,-8.604505,MSL Press:1022.8,MSL Temp:291.12,Pressure:1004.4078,Type:0,Altitude:154.36
Time:2017-09-05 21:19:47.668577,Source:59ceaea59b6b46348d3bdcd0d0feb8d2,Lat/Lon:41.15914,-8.604505,MSL Press:1023.26,MSL Temp:290.63,Pressure:1004.4078,Type:1,Altitude:157.91
Time:2017-09-05 21:19:47.668577,Source:59ceaea59b6b46348d3bdcd0d0feb8d2,Lat/Lon:41.15914,-8.604505,MSL Press:1023.39,MSL Temp:291.12,Pressure:1004.4078,Type:2,Altitude:159.26
Time:2017-09-05 21:19:47.668577,Source:59ceaea59b6b46348d3bdcd0d0feb8d2,Lat/Lon:41.15914,-8.604505,MSL Press:1022.9,MSL Temp:290.15,Pressure:1004.4078,Type:3,Altitude:154.68
```

Figura 4.8: Ficheiro de *logs* gerado pelo sistema

pedido, a latitude e longitude da origem do pedido, a pressão ao nível médio do mar bem como a temperatura, a pressão calculada, o tipo de interação que pode ser mapeado para cada um dos métodos implementados e a altitude final, resultado da aplicação da fórmula barométrica do lado do servidor.

O identificador utilizado para a origem do pedido é gerado ao nível da aplicação *Android* a cada vez que a aplicação é iniciada e desde então mantém-se o mesmo caso o utilizador não feche a aplicação. Assim sendo, a nível da aplicação é possível identificar as suas interações com o servidor, porém a nível de servidor é impossível identificar o cliente específico que realizou os pedidos.

4.11 Sincronização e acesso a recursos partilhados

A necessidade de mecanismos de sincronização surgiu aquando da paralelização do sistema através de *threads*. Tendo o subsistema responsável pelo download de ficheiros **GRIB** e o servidor a aceder a recursos partilhados concorrentemente, foi necessária a implementação de proteções de variáveis partilhadas de forma a garantir o princípio de integridade, impedindo que o sistema ficasse corrompido.

A implementação do sistema de sincronização das *threads* serviu para garantir que:

- A alteração do valor das variáveis que identificam o ficheiro **GRIB** mais recente em disco, do ficheiro **GRIB** aberto ser realizada atómicamente.
- O ficheiro **GRIB** aberto só poder ser alterado quando não existem *threads* a usá-lo.

Como podemos observar na figura 4.1, existe uma certa independência entre os componentes responsáveis pela disponibilização dos ficheiros **GRIB** e os componentes constituintes do servidor responsável pelas pesquisas nos ficheiros **GRIB** para responder a pedidos. Existe contudo o acesso a variáveis partilhadas entre ambas as partes, e ocorrendo esse acesso de forma concorrente, foi necessário implementar um sistema de controlo para garantir a integridade do sistema.

Para controlar o acesso às variáveis com o identificador do ficheiro **GRIB** guardado, aberto e do *file descriptor* foram criados dois *locks*, que correspondem a primitivas na sincronização de recursos. Cada um garante que a alteração do ficheiro **GRIB** aberto ocorre de forma atómica, isolando a zona crítica onde que as variáveis de controlo são alteradas.

Além disso, foi implementado um sistema de semáforos para permitir a alteração do *file descriptor* apenas quando não existem *threads* a tentar aceder ao ficheiro antigo.

Os semáforos correspondem a variáveis iniciadas com o valor do número máximo de conexões que o servidor permite e são decrementados enquanto se está a fazer uma pesquisa no ficheiro de 0.1º e 0.5º respetivamente. O processo de alteração do *file descriptor* tem em consideração estes semáforos e só permite a sua mudança quando o valor do semáforo assim o permitir.

Capítulo 5

Implementação - Aplicação *Android*

Este capítulo apresenta a implementação da aplicação *Android* que interage com o servidor acima descrito. É retratada a estrutura interna da aplicação bem como o interface do utilizador.

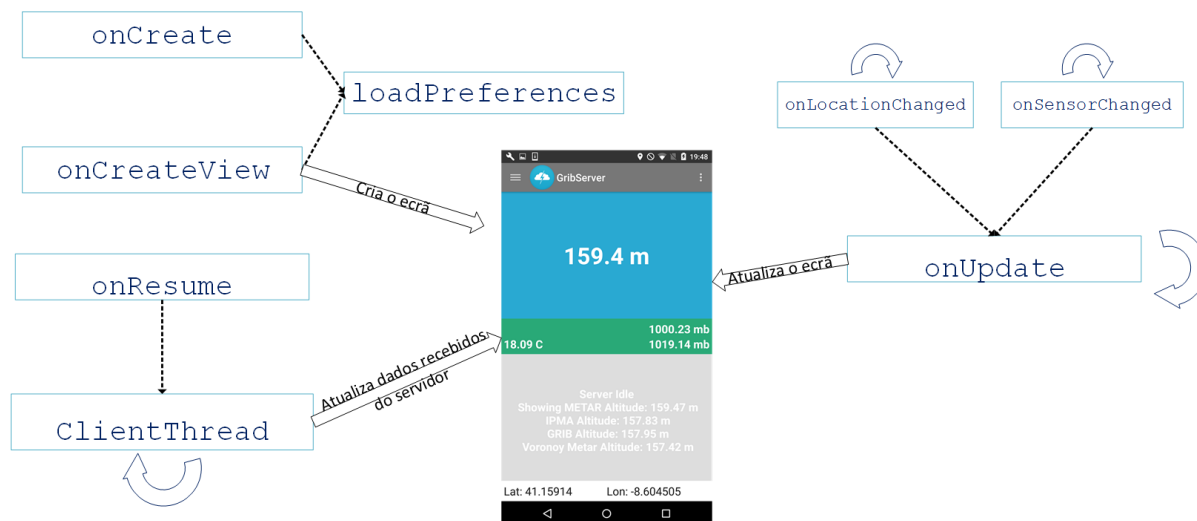


Figura 5.1: Estrutura interna da aplicação Android

A aplicação *Android* responsável pelo cálculo final da altitude com os dados de referência provenientes do servidor e os dados do sensor barométrico do *smartphone* corresponde a uma adaptação da aplicação descrita em [24].

A adaptação envolveu a criação de uma nova funcionalidade que permite à mesma a interação com o servidor construído.

A estrutura da nova implementação está apresentada na figura 5.1. Como pode ser observado, a nova funcionalidade é constituída essencialmente por três métodos: `onCreate`, `ClientThread` e `onUpdate`.

O método `onCreate` é responsável pela aplicação das preferências selecionadas pelo utilizador a nível da aplicação, bem como do geração da *view* que corresponde à interface do utilizador.

O método *ClientThread* foi implementado para ser executado com uma frequência determinada pelo utilizador, e para comunicar com o servidor, abastecendo a aplicação com dados provenientes do mesmo.

Por fim, o método *onUpdate* é responsável pela atualização dos dados no interface do utilizador, e tem como principal função a atualização do valor de altitude que a aplicação calcula.

A razão pela qual foi criada uma *thread* isolada responsável pela comunicação com o servidor correspondeu ao facto de numa aplicação *Android* não ser possível realizar tarefas em *background* na *thread* responsável pelo interface de utilizador, uma vez que as mesmas iriam bloquear o ecrã.

Esta *thread* recebe um parâmetro de frequência, podendo ser realizada a cada 1, 2, 5, 20, 30, 45 ou 60 minutos. O código da criação da *thread* responsável pela comunicação com o servidor está retratado no bloco de código abaixo.

Como pode ser observado no bloco de código apresentado abaixo, antes de ser realizada uma comunicação com o servidor é ressalvada a existência de valores por parte do serviço de localização *Android*, garantindo assim que só é realizado um pedido quando a aplicação tem disponíveis todos os dados necessários para o realizar.

Além do valor de latitude e longitude, é também ressalvada a existência de valores relativos ao sensor barométrico do *smartphone*.

O motivo para tal ressalva deve-se ao facto de ter surgido a necessidade de enviar o valor da pressão barométrica no local onde o dispositivo móvel se encontra para o servidor, permitindo assim ao servidor aplicar também a fórmula barométrica e calcular o valor final de altitude, facilitando o estudo comparativo dos vários métodos implementados.

```
public void onResume() {
    super.onResume();
    loadPreferences();
    observableSensor = new ObservableSensor(context);
    observableSensor.addObserver(this);
    onLocationChanged(observableLocation.getLocation());
    /**
     *Only make registration call if device has a pressure sensor
     */
    if (sensor != null && latitude !=0 && longitude !=0 ) {
        sensorManager.registerListener(observableSensor, sensor,
            SensorManager.SENSOR_DELAY_NORMAL);
        try {
            /**
             * Set the app to make a request to the server at a defined freq
             */
            timer = new Timer();
            timerTask = new TimerTask() {
                @Override
                public void run() {
                    new Thread(new ClientThread()).start();
                }
            };
            timer.schedule(timerTask, 0);
        } catch (Exception e) {
            // ignore
        }
    }
}
```


temperatura de referência, que recebe do servidor.

5.2 Parâmetros de configuração

Sendo esta uma adaptação de uma aplicação já existente, algumas das configurações existentes já se encontravam implementadas. As configurações da aplicação encontram-se organizadas pelos diferentes modos que a mesma apresenta, reservando uma secção para configurações do próprio dispositivo.

Uma das definições configurável na aplicação que já se encontrava configurada correspondia à escolha das unidades apresentadas no interface do utilizador. Neste caso foi estendida a sua utilização para essa mesma escolha de unidades ser aplicada também ao novo módulo implementado.

Além dos parâmetros de configuração pré-existentes, foi acrescentada uma nova secção de configurações, referentes à interação com o servidor implementado. A figura 5.3 retrata as definições que foram introduzidas para englobar os novos parâmetros de configuração relacionados com a configuração do servidor.

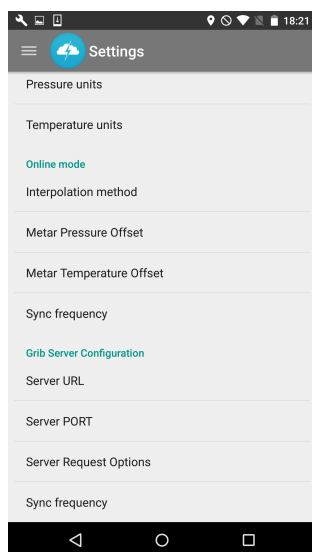


Figura 5.3: Parâmetros configuráveis da aplicação *Android*

Sendo esta uma aplicação móvel, a transferência de dados é um fator a ter em conta na medida em que deve ser minimizada. A implementação da aplicação ressaltou este facto dando liberdade de escolha ao utilizador na escolha da frequência de interações entre o telemóvel e o servidor.

Como a figura 5.4 demonstra, o utilizador pode escolher o intervalo temporal entre as interações com o servidor, que a nível de implementação corresponde à frequência a que a *thread* de comunicação é lançada.

Tendo esta característica implementada nas definições, o utilizador passa a conseguir decidir com que frequência os dados de referência de pressão e temperatura são atualizados.

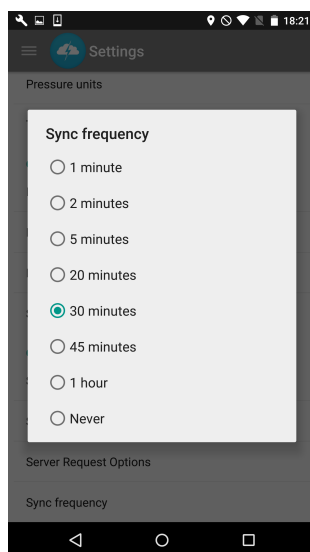


Figura 5.4: Definição da frequência de pedidos da aplicação *Android*

Por fim, ainda nas definições da aplicação, foi introduzida a possibilidade do utilizador escolher a forma como os valores de referência da pressão e temperatura são calculados. Para tal foram introduzidas opções relativas aos diferentes métodos implementados como pode ser observado na figura 5.5.

Neste ecrã são mostradas as diferentes opções para o pedido realizado ao servidor. De notar que não estão disponíveis todos os métodos implementados uma vez que para facilitar o processo de análise foi implementado um modo de funcionamento adicional *all methods*, que permite executar o cálculo de todos os métodos com um único pedido.

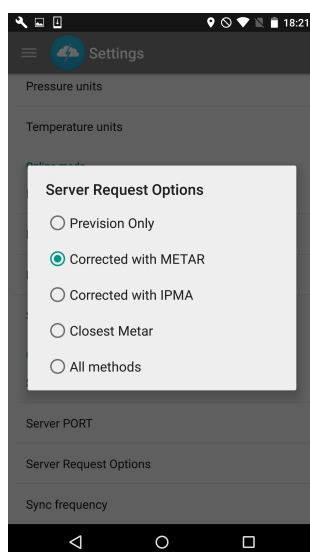


Figura 5.5: Definição do tipo de pedido da aplicação *Android*

Capítulo 6

Resultados

Este capítulo foi reservado para a realização de uma análise crítica da experiência levada a cabo e dos resultados obtidos através da mesma. Além disso é também descrita a organização do sistema de recolha de dados, bem como a forma como os dados foram recolhidos.

6.1 Descrição do ambiente de testes

Tendo em consideração que a análise dos resultados obtidos necessitaria de uma recolha de dados estruturada, foi implementado o sistema de *logs* que se comporta como a figura 6.1 retrata.

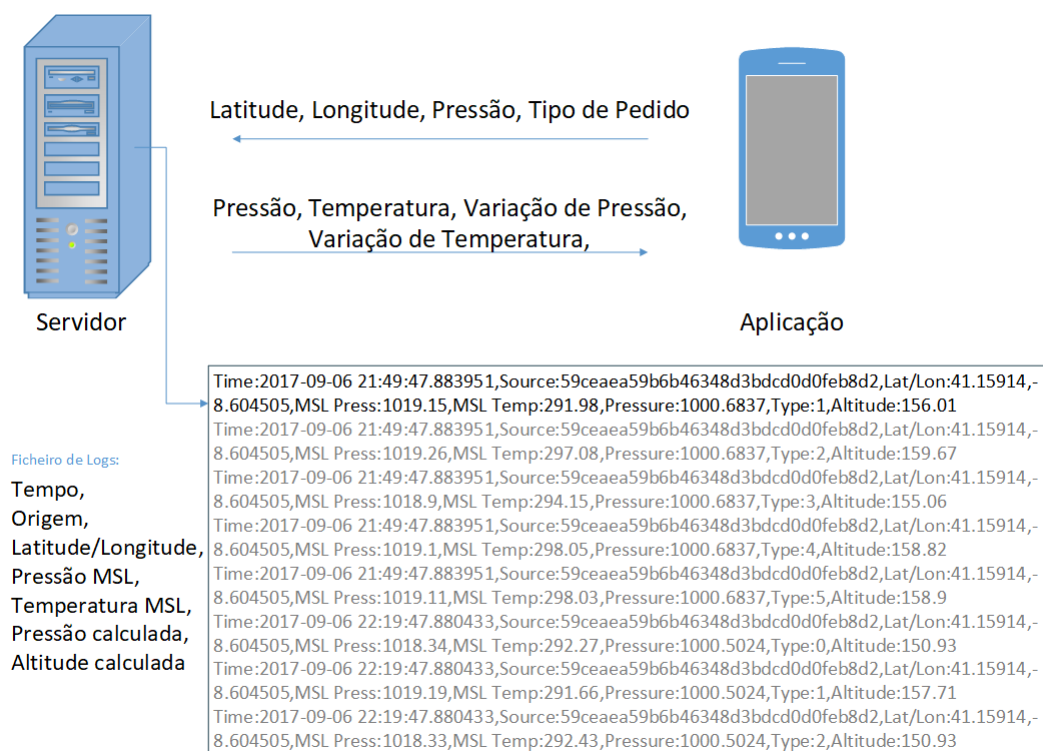


Figura 6.1: Funcionamento do sistema de *logs*

Como se pode observar na figura 6.1, o ficheiro de *logs* é composto por diferentes entradas, cada uma corresponde a uma interação do servidor com a aplicação. Para a análise desses resultados foi realizado um *parser* para o ficheiro de *logs*.

A implementação do *parser* teve como propósito final a apresentação de resultados sob a forma de um gráfico. Como parâmetro de entrada, este *parser* recebe o identificador da origem do pedido bem como o ficheiro de *logs*. No decorrer da sua execução, é realizada uma iteração por cada entrada do ficheiro de *logs*. Para todas as entradas relativas ao mesmo identificador é inserido um identificador temporal e o valor de altitude em diferentes vetores referentes aos diferentes métodos usados.

A realização dos gráficos de comparação recorreu ao módulo *matplotlib*, que corresponde a uma biblioteca para a geração de gráficos 2D a partir de *arrays* [16]. Além disso, foi também utilizado o software Microsoft Excel para tratamento de dados.

No que toca à recolha de dados, a metodologia utilizada recorreu à utilização de um dispositivo móvel para simular uma interação real com o sistema implementado.

Foi instalada a aplicação implementada num *smartphone* com sensor barométrico e configurada a mesma de modo a esta se manter a comunicar com o servidor durante dez dias estando a mesma localizada a uma altitude constante.

O valor da altitude no local onde foram recolhidos os dados de altitude foi estimado através da conjugação de dados provenientes de diferentes fontes. Através do *website elevationmap* [12] obteve-se o valor de 146 metros de altitude ao nível do solo na latitude e longitude onde o *smartphone* se encontrava a recolher dados, o mesmo valor foi obtido pelo *website daftlogic* [10], que utiliza o *Google Maps* e retorna o valor de altitude numa determinada localização. Para apoiar estas duas fontes de dados foram também analisadas cartas militares com as curvas de altitude que vieram suportar também o valor de altitude obtido.

Tendo em conta que o valor recolhido corresponde à elevação do solo em relação ao nível médio do mar, e que a recolha dos dados não se realizou junto ao solo, foi necessário calcular a distância entre o dispositivo e o solo. Através da aplicação *Altimeter* foi possível calcular essa distância. Utilizando o modo *Point to Point* foi possível calcular a variação de pressão entre dois pontos, e conseqüentemente a variação de altitude.

Foi realizado um conjunto de medições e de seguida foi realizada a média das medições obtidas, resultando num valor de 12,1 metros que separam a altitude do solo da altitude a que o *smartphone* se encontrava durante a recolha dos dados.

O valor assumido como altitude real, utilizado para comparar os diferentes métodos implementados corresponde à aplicação do método anteriormente mencionado. Este facto faz com que os resultados apresentados tenham que ser vistos com alguma cautela, uma vez que a comparação levada a cabo apresenta limitações no que diz respeito ao valor utilizado como altitude de referência. Além deste facto, é necessário também ressaltar que o dispositivo utilizado

para a recolha de dados contém um sensor barométrico cuja calibração não foi efetuada por uma entidade certificada, podendo isso introduzir erro a nível das altitudes calculadas.

Para a recolha de dados, os parâmetros de configuração utilizados na aplicação *Altimeter* corresponderam à utilização do modo de funcionamento construído para a obtenção de dados. A nível das definições da aplicação foi escolhido o modo que realiza um pedido com um código especial ao servidor para que o mesmo aplique todos os métodos implementados e guarde os resultados no ficheiro de *logs* no servidor.

Em termos de frequência de interações, a aplicação foi configurada para a cada 30 minutos o *smartphone* entrar em contacto com o servidor e realizar um pedido.

O armazenamento de dados ocorreu durante um período de dez dias.

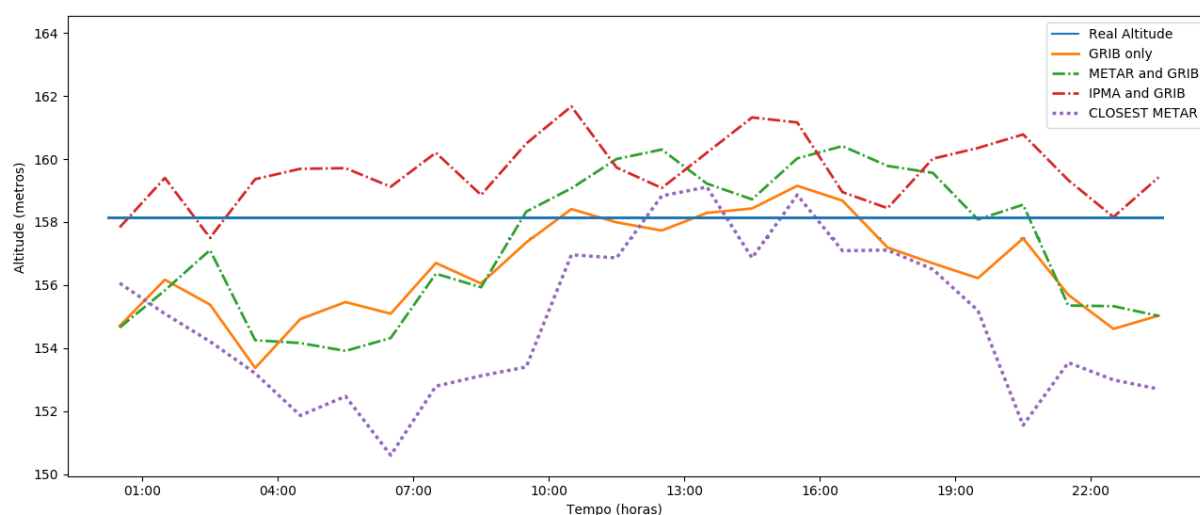


Figura 6.2: Comparação entre os diferentes métodos implementados

O resultado final do tratamento dos dados armazenados pode ser observado na figura 6.2, onde é apresentada uma comparação entre todos os métodos implementados em relação a uma altitude real estimada pelo método acima mencionado.

A forma utilizada para o tratamento de dados passou por agregar diversas observações realizadas por cada um dos métodos em diferentes dias por forma estudar a variação ao longo do dia. A informação presente na figura 6.2 corresponde à média de todos os valores de altitude calculados para cada hora do dia. Para combinar todas as observações relativas a cada hora do dia foi realizada a média de todas altitudes calculadas por cada um dos métodos. Por outro lado foram utilizados valores referentes à mesma hora em diferentes dias para chegar à media das medidas para uma determinada hora.

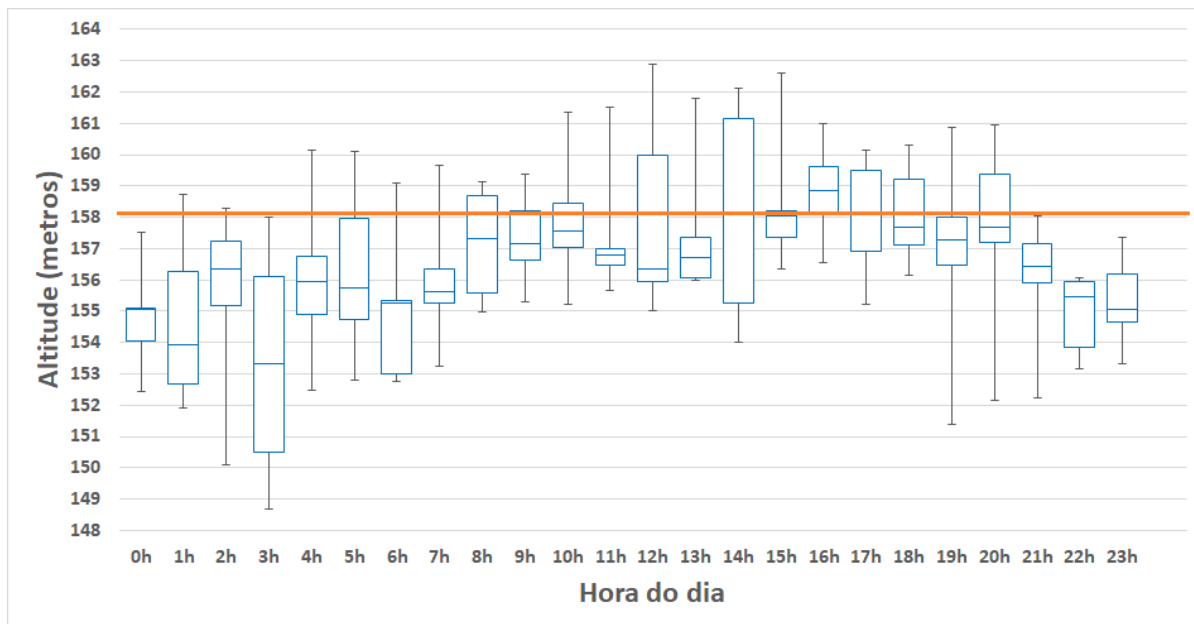


Figura 6.3: Resultados do método com dados de previsão meteorológica

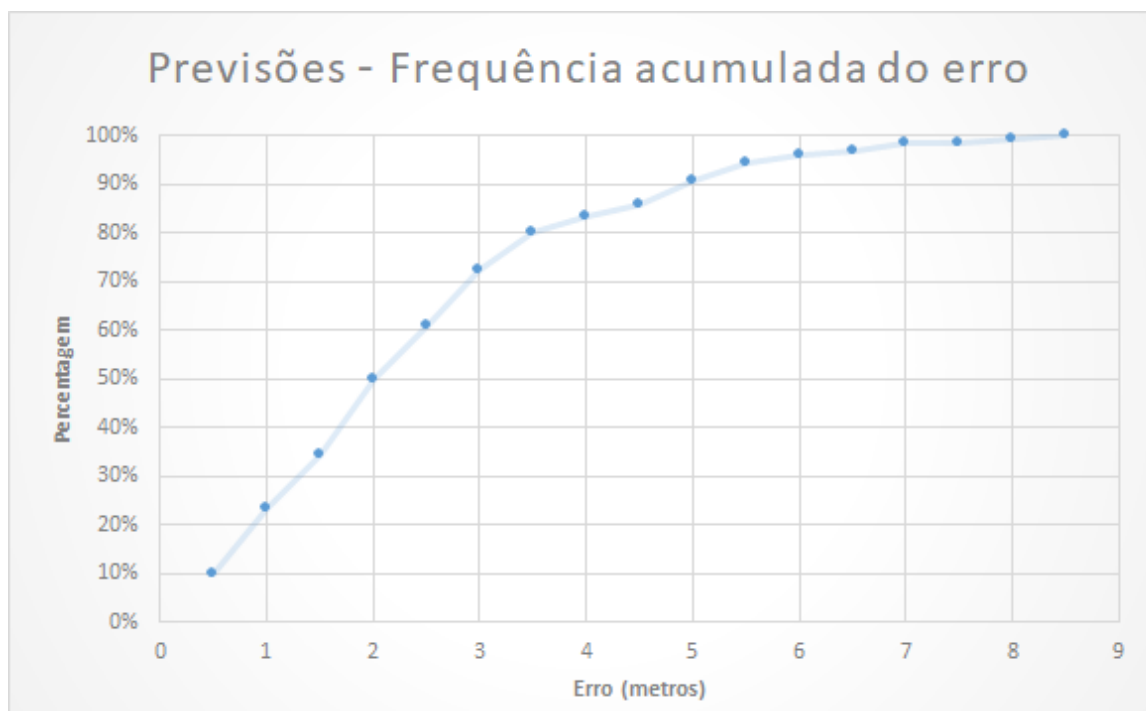


Figura 6.4: Frequência acumulada do erro de altitude com o método com dados de previsão meteorológica

6.2 Método com dados de previsão meteorológica

Os resultados aqui apresentados espelham a aplicação de previsões meteorológicas para o cálculo da altitude.

A figura 6.3 apresenta valores de altitude relativos ao método de cálculo da altitude que recorre somente a dados de previsões extraídos do ficheiro *General Regularly-distributed Information in Binary form* (GRIB). Os valores de altitude calculados e explícitos nesta figura correspondem à aplicação da fórmula barométrica com valores de referência para pressão e temperatura obtidos em ficheiros de previsão GRIB.

A escolha dos dados de previsões em formato GRIB baseou-se no facto deste proporcionar uma organização de dados que facilita a manipulação e aglomeração de previsões para diferentes horas com coberturas espaciais variadas, e consequentemente definições diferentes. Os dados de previsões meteorológicas garantem ainda um conjunto de dados regularmente espaçados.

Com a aplicação deste método, todas as altitudes calculadas ao longo do tempo apresentaram uma distribuição de erro demonstrado na figura 6.4.

6.3 Método com dados de observações da estação METAR mais próxima da localização do utilizador

Os resultados da figura 6.5 apresentam os valores de altitude obtidos através da utilização de observações meteorológicas para o cálculo do valor de referência de pressão.

Para a aplicação deste método foram utilizados dados provenientes da estação *Meteorological Aerodrome Report* (METAR) mais próxima da localização do utilizador. Os valores medidos na estação METAR vieram permitir uma comparação entre os dados de previsões com os dados de observações meteorológicas.

Este método não aplica qualquer tipo de correção ao valor de referência para pressão e temperatura reportado pela estação METAR pelo que quanto mais distante a estação se encontrar da localização do utilizador, pior será a qualidade dos dados obtidos.

Ainda relativamente ao gráfico da figura 6.5, pode ser observada uma oscilação horária nos resultados apresentados. Ao longo do dia, os valores médios de altitude para cada hora apresentam uma distribuição que varia de acordo com a temperatura a cada hora do dia. das 2h até às 9h podem-se observar valores de altitude observados bastante inferiores aos valores observados das 11h às 16h. Este facto vem indiciar que o valor da temperatura interfere diretamente e tem um peso visível no cálculo final da altitude.

O gráfico da figura 6.6 apresenta a distribuição do erro acumulado.

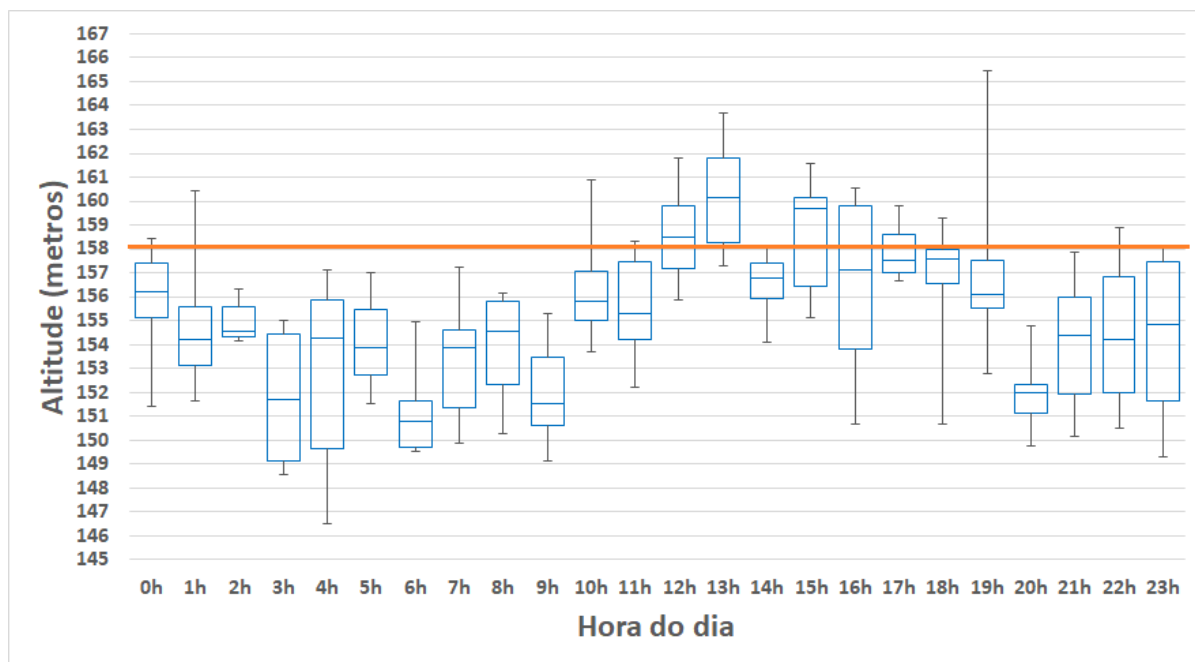


Figura 6.5: Resultados do método que utiliza dados de relatórios da estação METAR mais próxima

6.4 Método com dados de previsão meteorológica conjugados com observações de estações METAR

O resultado apresentado através da figura 6.7 reflete o comportamento do método que conjuga dados relativos a relatórios de estações **METAR** e dados de previsões meteorológicas contidos em ficheiros **GRIB**.

O objetivo deste método consistiu em utilizar previsões meteorológicas, extraindo a variação temporal e espacial para aplicar em observações meteorológicas obtidas em estações meteorológicas **METAR** e assim corrigir os valores observados. Uma vez que observações meteorológicas correspondem a valores discretos, as variações provenientes das previsões meteorológicas permitiram a correção dos valores de referência, na medida em que aplicando a variação temporal a observações medidas no passado permite o cálculo de observações relativas ao instante atual.

A figura 6.8 apresenta o erro médio acumulado deste método.

6.5 Método com dados de previsão meteorológica conjugados com observações de estações IPMA

O gráfico da figura 6.9 apresenta os resultados dos valores de altitude obtidos através da conjugação de observações recolhidas em estações Instituto Português do Mar e Atmosfera (**IPMA**) e dados

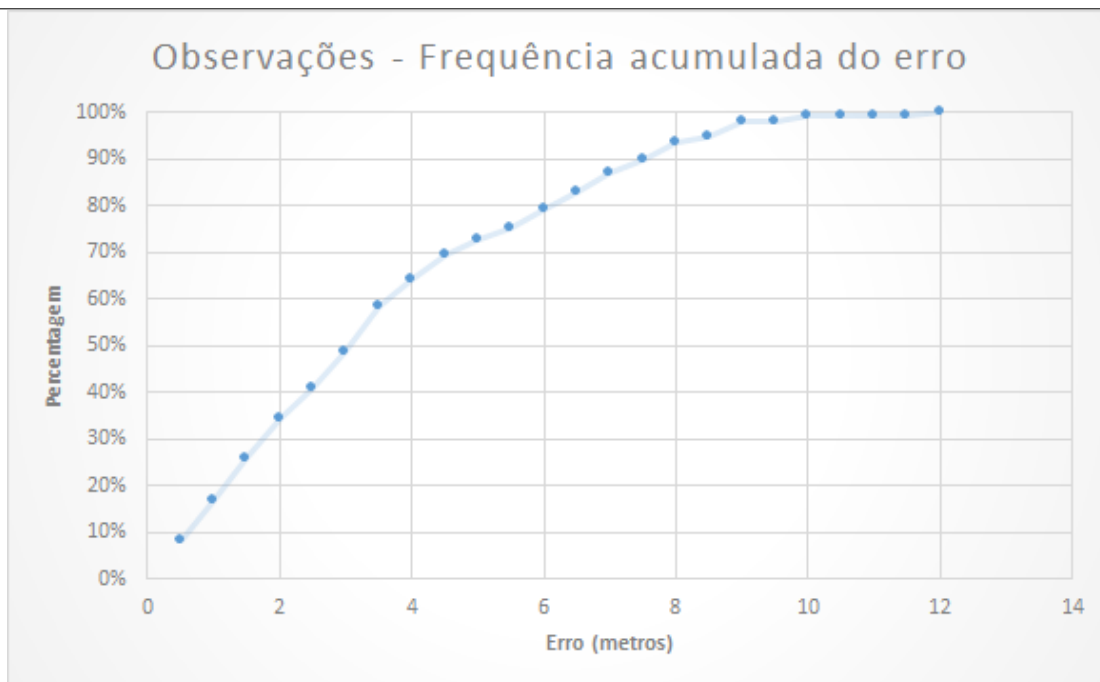


Figura 6.6: Frequência acumulada do erro de altitude com o método que utiliza dados de relatórios da estação METAR mais próxima

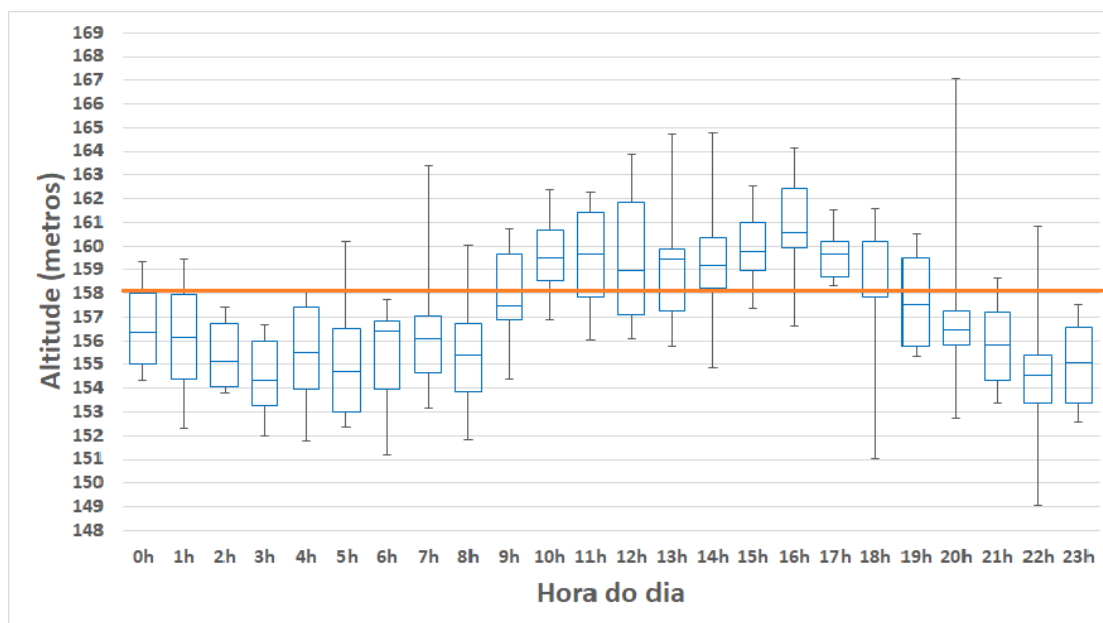


Figura 6.7: Resultados do método que conjuga previsões com observações de estações METAR de previsão meteorológica.

Estes resultados devem ser analisados tendo em conta que os valores reportados pelo IPMA correspondem à média dos valores medidos pela estação no intervalo de 1h, não sendo referentes somente a um instante temporal.

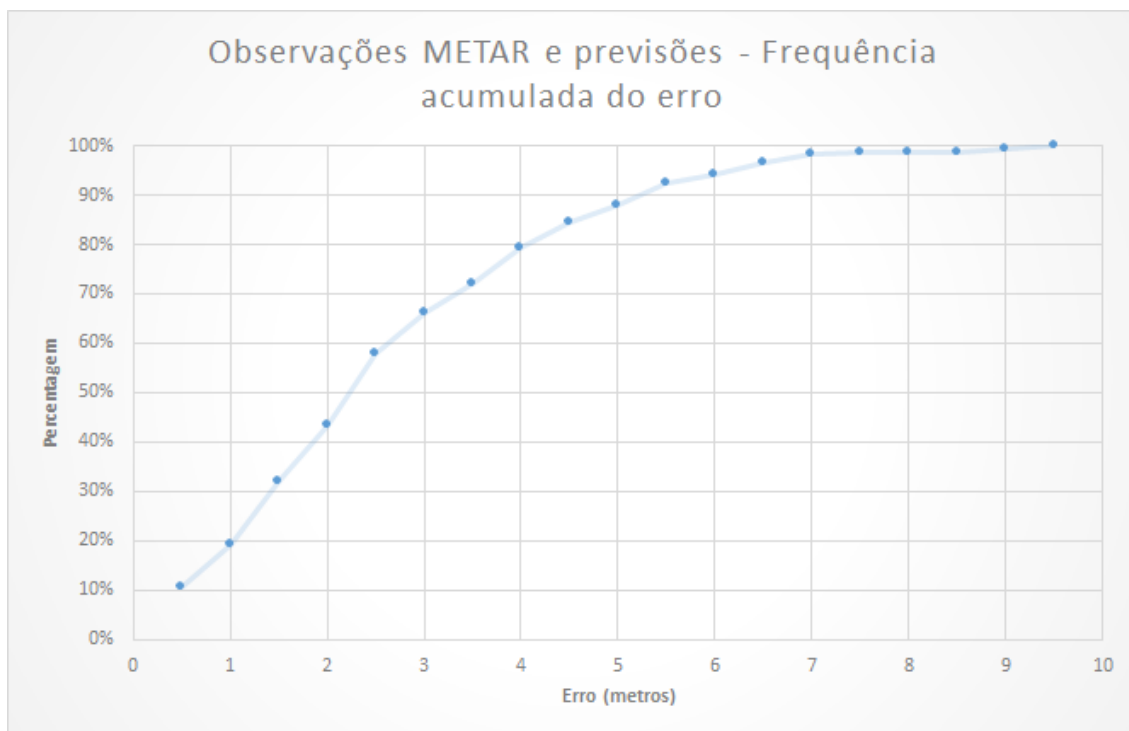


Figura 6.8: Frequência acumulada do erro de altitude com o do método que utiliza dados de relatórios da estação METAR combinados com dados de previsões meteorológicas

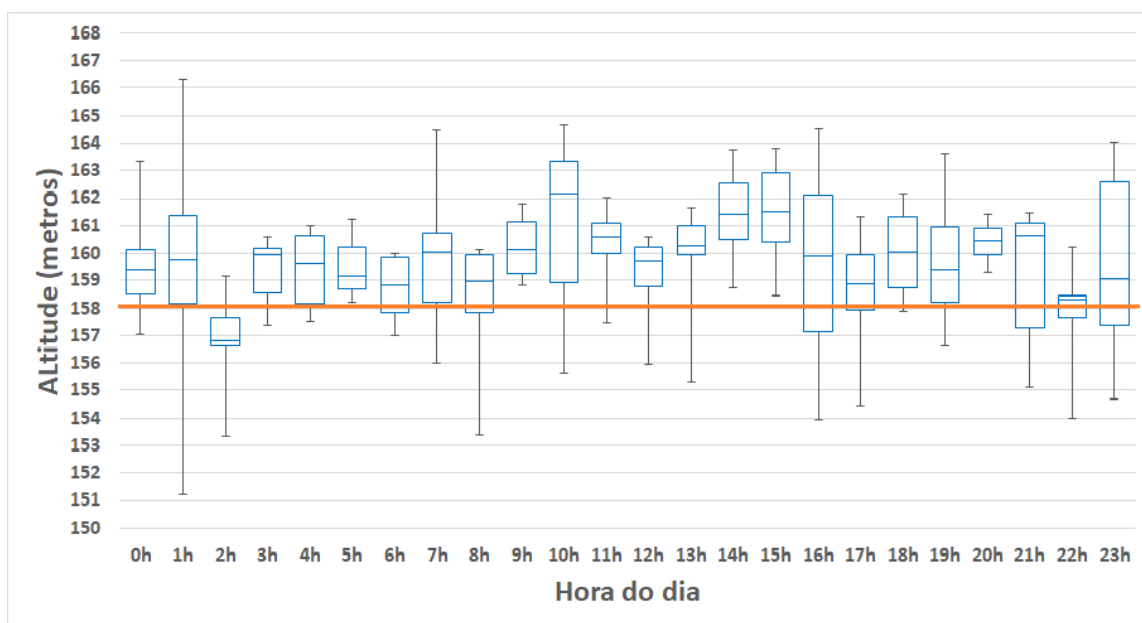


Figura 6.9: Resultados do método que conjuga previsões com observações de estações IPMA

A introdução de dados de observações meteorológicas provenientes de estações meteorológicas do IPMA deve-se ao facto destas apresentarem uma resolução superior aos dados fornecidos por estações METAR, e por isso fazerem com que a incerteza no valor de referência de pressão e temperatura seja menor.

A figura 6.10 apresenta resultados em termos de erro acumulado.

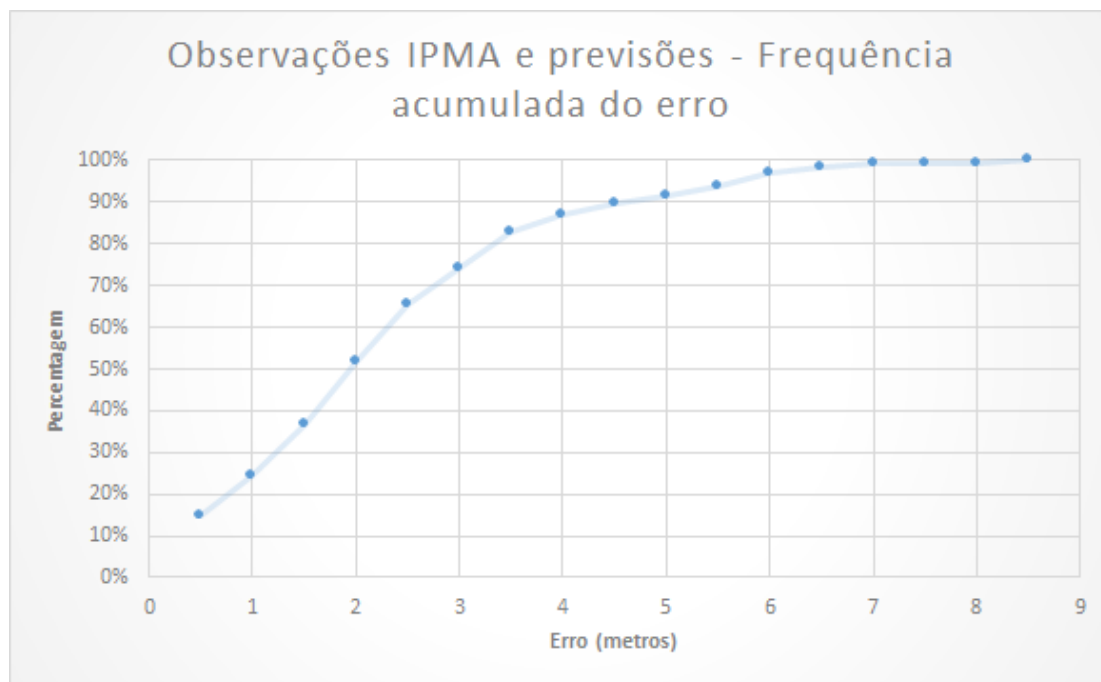


Figura 6.10: Frequência acumulada do erro de altitude com o método que conjuga previsões com observações de estações IPMA

É importante reforçar que os resultados apresentados ao longo deste capítulo correspondem a uma primeira análise e devem ser interpretados cuidadosamente e com sentido crítico uma vez que têm presentes um conjunto de fatores que influenciam o sistema e acrescentam incerteza ao mesmo.

O valor de referência utilizado como altitude real, sendo obtido através do método mencionado anteriormente, pode não corresponder ao valor exato da altitude a que o dispositivo que recolheu os dados. Por outro lado, o controlo sobre a calibração do sensor barométrico do dispositivo também não tem uma calibração de uma entidade certificada.

Aquando do início deste trabalho, partiu-se do pressuposto de que existia uma uniformidade na redução de valores de pressão para o nível médio da água do mar pelas entidades externas às quais se acedeu, porém, à posteriori observou-se que tal facto não corresponde à realidade.

Relativamente aos dados provenientes de observações, antes de serem efetuados os relatórios provenientes de estações **METAR** e estações **IPMA**, os valores de referência necessitam de ser reduzidos para o nível médio do mar, uma vez que as estações não se encontram todas à altitude zero.

O sistema implementado ao longo deste trabalho de investigação requer uniformidade no que toca aos valores de referência utilizados na aplicação da fórmula barométrica, e assim sendo é necessário aprofundar o estudo no que toca ao cálculo destes valores pelas entidades que os disponibilizam.

Como pode ser constatado em [39] e [25], existe incoerência em relação ao método utilizado para calcular a redução da pressão atmosférica para o nível médio do mar entre diferentes estações METAR. O método utilizado em [25] para a redução da pressão para o nível médio do mar utiliza valores de temperatura referentes à média entre a temperatura instantânea e a temperatura há 12 horas antes do instante atual em vez de utilizar a temperatura instantânea apenas.

No que toca às estações IPMA e dados de previsão presentes no ficheiro GRIB seria necessário aprofundar o estudo para tentar perceber como é que esta redução para o nível médio do mar é obtida e tentar uniformizar esse mesmo cálculo entre todas os valores de referência.

Método	Média	Desvio Padrão	Erro médio Absoluto	Erro Quadrático Médio
Previsões	156,8	2,6	2,4	2,9
Observações	155,1	3,5	3,6	4,4
Previsões combinadas com observações METAR	157,3	3,2	2,6	3,2
Previsões combinadas com observações IPMA	159,5	2,5	2,2	2,7
Altitude real	158,1			

Figura 6.11: Resultados dos diferentes métodos implementados

A imagem 6.11 reflete os resultados dos diferentes métodos utilizados no que toca à sua média, desvio padrão, erro absoluto médio e erro quadrático médio.

Através da imagem 6.11 é possível concluir que o método que apresenta menor dispersão de dados corresponde ao método que combina previsões atmosféricas com dados de observações obtidas em estações meteorológicas do IPMA uma vez que o valor do desvio padrão dos resultados calculados é o menor.

Capítulo 7

Conclusões

O trabalho realizado ao longo deste projeto de investigação teve como principal foco ir de encontro aos objetivos propostos, tendo como produto final um sistema baseado num servidor agregador de previsões e observações meteorológicas e um cliente sob a forma de uma aplicação Android para o cálculo da altitude.

Um dos objetivos propostos consistiu no estudo de técnicas para a determinação de altitude através de informação de pressão atmosférica.

Como referido a longo deste documento, o cálculo da altitude baseado na aplicação da fórmula barométrica depende de dados de referência. Para a construção do servidor agregador de previsões e observações que vieram a funcionar como dados de referência, foi necessária a ambientação ao formato *General Regularly-distributed Information in Binary form* (GRIB) e à *Application Programming Interface* (API) para manipulação de ficheiros GRIB.

No decorrer deste trabalho de investigação foi estudado o módulo *pygrib*, que permitiu a extração e manipulação de dados de previsões meteorológicas e foram estudados diferentes serviços agregadores de observações meteorológicas, dos quais se destacaram o *Aviation Weather Center* (AWC) e o Instituto Português do Mar e Atmosfera (IPMA).

O ponto central deste projeto de investigação passou por calcular os valores de referência de pressão e altitude mais próximos da realidade quanto possível, para tal foram desenvolvidas técnicas para aperfeiçoamento do cálculo de altitude recorrendo ao sensor barométrico, apoiado por dados de observações de estações barométricas terrestres e por dados de previsão meteorológica.

Para a conjugação de dados de previsão e observação meteorológicas foi implementado um método com o intuito de corrigir dados de observações com dados de previsões. Os dados provenientes de observações meteorológicas apresentam uma dispersão geográfica irregular, necessitando de ser realizada uma interpolação para a localização onde se deseja calcular a altitude. Além disso, dados de observações correspondem a valores discretos referentes a medições, pelo que necessitam de ser atualizados temporalmente, tal foi conseguido através da aplicação de correções usando variações espaço-temporais obtidas pelos valores de previsões

meteorológicas.

A correção de valores relativos a previsões atmosféricas utilizando valores de observações foi um dos objetivos que não conseguiu ser concluído devido a falta de tempo. Este método foi idealizado com vista a corrigir os dados de previsões meteorológicas utilizando dados de observações meteorológicas. Dados de observações chegam com mais frequência e correspondem a valores efetivamente medidos. A metodologia por trás deste método envolvia utilizar esses mesmos dados para a cada hora corrigir os valores de previsão e manter valores de previsão mais próximos do valor real.

Ressalvando o facto de que a análise de resultados apresenta algumas reservas devido a ser condicionada por diversos fatores, através dos resultados obtidos pelos diferentes métodos é possível concluir que a junção de dados de previsões com dados de observações veio resultar na redução do erro no cálculo da altitude. Além disso, os métodos referentes à junção de previsões com observações apresentam mais estabilidade na medida em que as oscilações da média dos valores calculados ao longo do dia são menores, garantindo assim melhor qualidade nos dados.

A utilização de duas fontes distintas de dados de observações permitiu aumentar a definição nos valores reportados uma vez que dados referentes a estações *Meteorological Aerodrome Report* (METAR) apresentam uma definição inferior aos valores reportados por estações do IPMA, em contrapartida, o IPMA fornece observações apenas para o território Português enquanto que estações METAR cobrem todo o território mundial.

Relativamente ao interface do utilizador do sistema implementado, este corresponde à adaptação da aplicação *Android Altimeter*, construída num projeto de investigação anterior. Esta parte do sistema passou a ser responsável pelo cálculo final da altitude, acedendo aos dados de referência disponibilizados do servidor implementado. Previamente a aplicação já procedia ao cálculo de altitude recorrendo a dados de observações em estações METAR, o acréscimo da interação com o servidor agregador de previsões e observações veio acrescentar funcionalidades e valor à qualidade da altitude calculada.

Em suma, após a implementação do sistema descrito ao longo deste documento foi possível a realização de uma análise dos resultados que, mesmo sendo preliminar e necessite um estudo mais aprofundado, permitiu concluir de que a junção de dados de previsões com dados de observações meteorológicas contribuiu para a obtenção de um valor de altitude baseado na pressão atmosférica mais próximo do valor real na medida em que as médias horárias apresentam uma distribuição menos dispersa em torno do valor que foi assumido como valor real de altitude.

7.1 Trabalho Futuro

Após a conclusão deste trabalho de investigação foram identificadas algumas formas de o complementar, necessitando para tal de o otimizar em aspetos que não conseguiram ser aprofundados ao máximo no decorrer desta dissertação.

Começando pelo servidor implementado, um dos aspetos que poderia ser melhorado corresponde à sua *performance*. A maneira de o conseguir poderia passar pelo estudo de soluções que divergissem da utilização de um ficheiros de previsões como os que estão a ser usados de momento. Uma solução como o armazenamento do ficheiro de previsões GRIB em matrizes relativas a cada hora de previsões aquando do seu download, poderia trazer vantagens em termos de pesquisa uma vez que o objeto de pesquisa passaria a estar em memória e não num ficheiro comprimido.

Outra solução que poderia aumentar a qualidade dos dados relativos a previsões meteorológicas poderia passar por recorrer a outros serviços que disponibilizam dados de previsões como a *Meteoblue* que agrega dados de diferentes modelos meteorológicos e realiza uma comparação entre os mesmos [19].

Ao nível dos métodos implementados e da otimização do cálculo dos valores de referência de pressão e temperatura, poderiam ser acrescentados métodos com diferentes formas de conjugar observações com previsões meteorológicas, tentando assim encontrar aquele que melhor se comportasse em situações específicas. Um dos objetivos que não foi atingido devido à falta de tempo correspondia à construção de um método que efetuasse uma correção das previsões meteorológicas a partir de observações meteorológicas.

Este método viria aplicar correções no ficheiro de previsões meteorológicas GRIB, assimilando valores relativos a observações reportadas por estações meteorológicas e assim aproximar os valores previstos dos valores observados. A assimilação adaptaria a variação presente nas previsões à variação obtida pelas ultimas observações meteorológicas.

A construção desta prova de conceito focou-se na obtenção de valores de pressão e temperatura pela junção de dados de previsões com observações meteorológicas. Aquando da análise dos resultados concluiu-se que existem fatores sobre os quais deve ser levado a cabo um estudo mais aprofundado, nomeadamente o cálculo da redução dos valores de referência de pressão e temperatura atmosférica para o nível médio do mar com a finalidade de obter um método *standard* entre as diferentes fontes de dados e assim eliminar a discrepância entre eles que introduz incerteza nos resultados.

Ainda relativamente à análise dos resultados, o valor de referência para a altitude real utilizado neste trabalho para a comparação entre os diferentes métodos foi estimado e baseado num conjunto de fontes externas. Como trabalho futuro, e para se obter uma comparação mais realista entre diferentes métodos para o cálculo de altitude, seria necessário obter um valor preciso da altitude de referência. Além disso, de forma a garantir a correção dos valores de altitude calculados pelo sistema, seria também necessário utilizar um dispositivo com um sensor de pressão calibrado por um laboratório certificado, de modo a reduzir o erro de medição.

Em termos da aplicação *Android* as mudanças passariam essencialmente por tentar transformá-la numa aplicação mais *user friendly*, acrescentando um sistema de contas de utilizadores, e permitindo todas as funcionalidades que as aplicações atualmente contemplam, como a partilha de informações em redes sociais.

Além disso seria também interessante a reestruturação da interface do utilizador, introduzindo um mapa com a localização atual semelhante à aplicação *Google Maps* e apresentar os dados em tempo real da altitude a que se encontra, bem como um gráfico com um histórico das altitudes relativos à sessão do utilizador.

Bibliografia

- [1] ARPEGE - centre national de recherches météorologiques. <http://www.umr-cnrm.fr/spip.php?article121&lang=fr>. (Accessed on 04/16/2017).
- [2] Altímetro preciso livre – aplicações android no google play. <https://play.google.com/store/apps/details?id=com.arlabsmobile.altimeterfree>. (Accessed on 12/22/2016).
- [3] IPMA - previsão numérica do tempo. <https://www.ipma.pt/pt/enciclopedia/otempo/previsao.numerica/index.html>. (Accessed on 01/22/2017).
- [4] Multimodel porto - meteoblue. https://www.meteoblue.com/pt/tempo/previsao/multimodel/porto_portugal_2735943. (Accessed on 01/22/2017).
- [5] Patente us3958459 - barometric altimeter - google patentes. <https://www.google.com/patents/US3958459>. (Accessed on 12/22/2016).
- [6] Sensitive altimeter – aplicações android no google play. <https://play.google.com/store/apps/details?id=com.igorinov.altimeter>. (Accessed on 12/22/2016).
- [7] AWC - aviation weather center. <https://www.aviationweather.gov/>, . (Accessed on 15/08/2017).
- [8] Aviationweather LPPR METAR data. <https://www.aviationweather.gov/metar/data?ids=LPPR&format=decoded&hours=0&taf=off&layout=on&date=0>, . (Accessed on 23/09/2017).
- [9] Aviationweather xml METAR information. https://www.aviationweather.gov/adds/dataserver_current/httpparam?dataSource=metars&requestType=retrieve&format=xml&radialDistance=100;-8,41&hoursBeforeNow=1, . (Accessed on 23/09/2017).
- [10] Google maps find altitude. <https://www.daftlogic.com/sandbox-google-maps-find-altitude.html>. (Accessed on 10/06/2017).
- [11] Le modele ARPEGE. https://donneespubliques.meteofrance.fr/client/document/20150416_doc_arpege_psi_189.pdf. (Accessed on 01/16/2017).
- [12] Elevation maps with altitude finder for any location. <http://elevationmap.net>. (Accessed on 10/06/2017).

-
- [13] Gribapi - ECMWF. <https://software.ecmwf.int/wiki/display/GRIB/Home>. (Accessed on 10/15/2016).
- [14] NetCDF - family serving basics. http://geoserver.geo-solutions.it/edu/en/multidim/netcdf/netcdf_basics.html. (Accessed on 10/03/2017).
- [15] IPMA - observação de superfície horária com gráficos. <https://www.ipma.pt/pt/otempo/obs.superficie>. (Accessed on 18/08/2017).
- [16] Matplotlib. <https://matplotlib.org/users/intro.html>. (Accessed on 09/01/2017).
- [17] Metar taf: Spain, portugal. <http://en.allmetsat.com/metar-taf/spain-portugal.php>, . (Accessed on 01/08/2017).
- [18] Data open licence. https://www.etalab.gouv.fr/wp-content/uploads/2014/05/Licence_Ouverte.pdf, . (Accessed on 15/10/2016).
- [19] Multimodel. <https://www.meteoblue.com/pt/tempo/previsao/multimodel>, . (Accessed on 09/08/2017).
- [20] Panoply netCDF, HDF and GRIB data viewer. <https://www.giss.nasa.gov/tools/panoply/>. (Accessed on 10/03/2017).
- [21] Contenu des fichiers ARPEGE. https://donneespubliques.meteofrance.fr/client/document/packages_arpege-octobre2015_194.pdf. (Accessed on 01/16/2017).
- [22] Module pygrib. <http://jswhit.github.io/pygrib/docs/>. (Accessed on 10/15/2016).
- [23] C Donald Ahrens. Essentials of meteorology today: an invitation to the atmosphere. *Thompson Brooks/Cole. Canada*, pages 130–200, 2001.
- [24] João Azevedo and Sérgio Crisóstomo. Weather stations-assisted barometric altimeter for android: Interpolation techniques for improved accuracy. In *Sensors Applications Symposium (SAS), 2016 IEEE*, pages 1–6. IEEE, 2016.
- [25] Stanley G Benjamin and Patricia A Miller. An alternative sea level pressure reduction and a statistical comparison of geostrophic wind estimates with observed surface winds. *Monthly Weather Review*, 118(10):2099–2116, 1990.
- [26] Mário N Berberan-Santos, Evgeny N Bodunov, and Lionello Pogliani. On the barometric formula. *American Journal of Physics*, 65(5):404–412, 1997.
- [27] Christian Bollmeyer, Tim Esemann, Hartmut Gehring, and Horst Hellbrück. Precise indoor altitude estimation based on differential barometric sensing for wireless medical applications. In *2013 IEEE International Conference on Body Sensor Networks*, pages 1–6. IEEE, 2013.
- [28] F Bouttier and P Courtier. Data assimilation concepts and methods march 1999. *Meteorological training course lecture series. ECMWF*, 2002.

- [29] Nitin R Chopde and M Nichat. Landmark based shortest path detection by using a* and haversine formula. *International Journal of Innovative Research in Computer and Communication Engineering*, 1(2):298–302, 2013.
- [30] Roger Daley. *Atmospheric data analysis*. Number 2. Cambridge university press, 1993.
- [31] Helaine Cristina Moraes Furtado. Redes neurais e diferentes métodos de assimilação de dados em dinâmica não linear. *Brazilian National Institute for Space Research-master thesis in Applied Computation program, São José dos Campos-Brazil*, 2008.
- [32] Galileo Galilei. *Dialogues Concerning Two New Sciences: Galileo Galilei*. Dover, 1954.
- [33] JV Iribarne and WL Godson. Atmospheric thermodynamics, geophys. *Astrophys. Monogr*, 6, 1981.
- [34] Eugenia Kalnay. *Atmospheric modeling, data assimilation and predictability*. Cambridge university press, 2003.
- [35] Guangwen Liu, Masayuki Iwai, Yoshito Tobe, Dunstan Matekenya, Khan Muhammad Asif Hossain, Masaki Ito, and Kaoru Sezaki. Beyond horizontal location context: measuring elevation using smartphone’s barometer. In *Proceedings of the 2014 ACM International Joint Conference on Pervasive and Ubiquitous Computing: Adjunct Publication*, pages 459–468. ACM, 2014.
- [36] Edward N Lorenz. Deterministic nonperiodic flow. *Journal of the atmospheric sciences*, 20(2):130–141, 1963.
- [37] Fabien Massé, Alan Kevin Bourke, Julien Chardonens, A Paraschiv-Ionescu, and Kamiar Aminian. Suitability of commercial barometric pressure sensors to distinguish sitting and standing activities for wearable monitoring. *Medical engineering & physics*, 36(6):739–744, 2014.
- [38] Fabien Masse, Roman Gonzenbach, Anisoara Paraschiv-Ionescu, Andreas R Luft, and Kamiar Aminian. Wearable barometric pressure sensor to improve postural transition recognition of mobility-impaired stroke patients. *IEEE transactions on neural systems and rehabilitation engineering*, 24(11):1210–1217, 2016.
- [39] Patricia M Pauley. An example of uncertainty in sea level pressure reduction. *Weather and forecasting*, 13(3):833–850, 1998.
- [40] Grzegorz Szafranski, Roman Czyba, Wojciech Janusz, and Wojciech Blotnicki. Altitude estimation for the uav’s applications based on sensors fusion algorithm. In *Unmanned Aircraft Systems (ICUAS), 2013 International Conference on*, pages 508–515. IEEE, 2013.
- [41] Olivier Talagrand. Assimilation of observations, an introduction. *Journal-Meteorological Society of Japan Series 2*, 75:81–99, 1997.