



**Interreg**  
Espana - Portugal

Fondo Europeo de Desarrollo Regional



UNIÓN EUROPEA



Centro Ibérico para la  
Investigación y Lucha contra  
Incendios Forestales



**LUCHA CONTRA EL  
CAMBIO CLIMÁTICO**

# MODELAÇÃO DE DESCARGAS ELÉTRICAS ATMOSFÉRICAS COM MODELO DE INVESTIGAÇÃO DE ALTA RESOLUÇÃO ESPACIAL



**AÇÃO “4.1.”  
PROGRAMA “4.1.2.”  
PROJETO “4.1.2.6.”  
ENTREGÁVEL “G.1.2.7.”**

**UNIVERSIDADE DE ÉVORA**

**Autores:** Flavio Tiago do Couto  
Rui Salgado

## ÍNDICE

	Página
<b>1. INTRODUÇÃO E OBJETIVO DO TRABALHO</b>	03
<b>2. MODELAÇÃO ATMOSFÉRICA UTILIZANDO O MODELO MESO-NH</b>	05
2.1 Sistema de simulação do modelo Meso-NH	05
2.2 Preparação da experiência numérica	07
2.2.1 Etapa PGD: ficheiros fisiográficos	08
2.2.2 Etapa REAL: campos iniciais para situações reais	10
2.3 Simulação	11
2.3.1 Primeira experiência: esquema elétrico não ativado	12
2.3.2 Segunda experiência: esquema elétrico ativado	12
2.4 Organização dos ficheiros da simulação no supercomputador do ICT	12
2.5 Pós-processamento	13
2.5.1 Diagnóstico após a simulação	13
2.5.2 Processamento gráfico das saídas do modelo	13
<b>3. VALIDAÇÃO DOS RESULTADOS NUMÉRICOS</b>	14
3.1 Ar superior (radiossonda)	14
3.2 Superfície (rede de estações meteorológicas)	15
3.3 Sistema de nuvens (RADAR)	17
3.4 Descargas elétricas atmosféricas	19
3.4.1 Rede de deteção do IPMA	19
3.4.2 Parametrização da atividade elétrica (esquema CELLS)	20
3.4.3 Comparação entre descargas elétricas detetadas e simuladas	20
<b>4. USO DO ESQUEMA CELLS PARA INVESTIGAR A IGNIÇÃO DE INCÊNDIOS FLORESTAIS</b>	22
4.1 Contexto geral	22
4.2 Eventos de incêndios florestais considerados no trabalho	22
4.3 Aplicabilidade do CELLS na identificação de áreas que podem ser afetadas por raios	22
<b>5. AVANÇOS CIENTÍFICOS - MANUSCRITO (RESUMO)</b>	23
<b>6. NOTAS FINAIS</b>	24
<b>7. AGRADECIMENTOS</b>	25
<b>8. BIBLIOGRAFIA</b>	25
<b>ANEXOS</b>	29
<b>ANEXO A:</b> Namelists Meso-NH	30
<b>ANEXO B:</b> Ficheiros de saídas do Meso-NH	37
<b>ANEXO C:</b> Dados de altitude	40
<b>ANEXO D:</b> Estações meteorológicas	42

## 1. INTRODUÇÃO E OBJETIVO DO TRABALHO

Os incêndios florestais estão associados com várias questões ligadas à sua ignição e propagação. Por exemplo, os incêndios podem ser iniciados por causas naturais ou ação humana, enquanto que a sua propagação é dependente das condições de superfície (orografia e disponibilidade de material combustível) e do estado da atmosfera. Em alguns casos, a combinação destes fatores pode tornar um incêndio extremamente difícil de ser controlado, podendo afetar grandes áreas e ter uma duração de dias ou semanas. Entre várias fontes de ignição, as descargas elétricas atmosféricas do tipo nuvem-solo, ou raios, são a principal fonte natural para a ignição de incêndios florestais e um importante contribuinte para área ardida em muitas regiões (*Ganteaume e Syphard, 2018*). Além disso, existem algumas configurações atmosféricas que aumentam a possibilidade de um raio causar um incêndio. Por exemplo, quando um raio é produzido a partir de uma trovoadas de base alta, e uma camada de ar relativamente mais seco em níveis baixos favorece a evaporação da precipitação antes desta atingir o solo (*Dowdy e Mills, 2012a*).

A quantidade de área ardida entre 1940 e 2000 aumentou significativamente em algumas regiões dos Estados Unidos (EUA), em particular na região oeste, onde os incêndios florestais provenientes de raios representam quase dois terços da área ardida. No entanto, a variabilidade climática e um aumento da disponibilidade de material combustível, em vez de raios, são sugeridos como fatores de controle de área ardida pelos incêndios de origem natural (*Abatzoglou et al., 2016; Stephens, 2005*). Tais aspetos podem causar grandes incêndios, os quais também têm aumentado na região, sendo acompanhados por períodos de seca severa (*Dennison et al., 2014; Barbero et al., 2014*). Recentemente, *Singleton (2019)* apontou que, nas últimas 3 décadas, os incêndios foram mais frequentes, maiores e mais severos no sudoeste dos EUA.

No Canadá, os incêndios florestais provenientes de raios são responsáveis pelas maiores áreas ardidas. Por exemplo, representam cerca de 50% da ocorrência e correspondem a 85% da área ardida (*Ganteaume e Syphard, 2018*). Na Austrália, onde esse tipo de ignição também pode ser a fonte principal de ocorrência de fogos, os incêndios tidos como naturais podem representar 90% da área ardida e ~30% do número total de incêndios que ocorrem (*Dowdy e Mills, 2012b*). Na Península Ibérica e, em particular na Espanha, os raios não desempenham o mesmo papel na ignição de fogos, com uma pequena percentagem (3,3%) e afetando 7,5% da área ardida (*Vazquez e Moreno, 1998*).

Em Portugal, todos os anos ocorrem incêndios que se propagam por vastas áreas de floresta, às vezes afetando um número significativo de pessoas. A partir da identificação de incêndios com condições meteorológicas similares, *Trigo et al. (2016)* mostraram que temperaturas mais altas e menor humidade durante os meses de verão tornam a metade ocidental da Península Ibérica mais favorável a ocorrência de incêndios. Por exemplo, a temporada de incêndios de 2003 em Portugal foi marcada por vários fogos durante o início do mês de Agosto, alguns deles causados por raios, como o incêndio de Santarém com 22190 ha de área ardida (*Pugnet et al., 2010*). Esse período foi precedido por um inverno húmido, seguido por um mês de Maio mais seco, o que possivelmente agravou o papel desempenhado pela onda de calor que afetava a Europa (*Trigo et al., 2005, 2006*). *Pugnet et al. (2010)* apontaram 303 incêndios causados por raios entre 1996 e 2008 em Portugal e afetando 60543,1 ha. O máximo de ocorrências em 2003 foi marcado por 67 incêndios provocados por raios, dos quais 9 arderam uma área acima de 1000 ha. Por outro lado, *Nunes et al. (2014)* destacaram que os incêndios de origem humana são responsáveis por grande parte dos incêndios em Portugal, enquanto que os fogos de origem natural representaram <1% do total de ocorrências no período 2001-2012. No entanto, tais eventos não podem ser negligenciados devido à grande área que pode ser ardida. Em 2017, incêndios florestais devastadores trouxeram uma tragédia para Portugal. Os incêndios perto de Pedrógão Grande criaram uma enorme nuvem de fumo e chamas, matando pelo menos 60 pessoas.

Um dos problemas dos incêndios florestais é diagnosticar suas causas. De um ponto de vista natural, e como mencionado acima, os raios atuam como fator principal de ignição em alguns casos. Este relatório apresenta o trabalho desenvolvido no âmbito da utilização de um modelo atmosférico configurado com alta resolução espacial para investigar a representação de raios do tipo nuvem-solo. Neste trabalho procura avaliar-se a capacidade de utilizar modelos de previsão do tempo para prognosticar a probabilidade de ocorrência de descargas elétricas capazes de iniciar incêndios florestais. O objetivo principal é verificar se seria possível prognosticar corretamente a ocorrência e a localização de raios nuvem-solo com uma simulação de alta resolução. Como previsto, utilizou-se como caso de estudo o trágico evento de Junho de 2017, incluindo o incêndio de Pedrógão Grande.

## 2. MODELAÇÃO ATMOSFÉRICA UTILIZANDO O MODELO MESO-NH

Nesse capítulo são apresentadas as características do sistema de simulação do modelo Meso-NH e a sequência de tarefas realizadas durante o trabalho, a qual é composta por três partes: preparação, simulação e pós-processamento.

### 2.1 Sistema de simulação do modelo Meso-NH

O modelo atmosférico Meso-NH é um modelo francês de mesoescala e não-hidrostático, sendo facilmente implementado em qualquer máquina unix e capaz de simular os movimentos atmosféricos em diferentes escalas. O Meso-NH é um modelo de investigação, partilhando esquemas físicos e código com os modelos de previsão do tempo desenvolvidos pelo consórcio liderado pela Météo-France: ARPEGE, AROME e HARMONIE. O Instituto Português do Mar e da Atmosfera (IPMA) é parte integrante deste consórcio e corre operacionalmente o AROME e o HARMONIE para Portugal. Um dos objetivos do Meso-NH é precisamente desenvolver e testar novas parametrizações e novos modelos que poderão vir a ser com relativa facilidade posteriormente integrados nos modelos operacionais. Por esta última razão, a utilização do Meso-NH neste trabalho e em outros no âmbito do CILIFO, abre perspectivas de, no futuro, as suas conclusões virem a ser utilizadas de forma operacional.

A grelha utilizada pelo Meso-NH é a grelha clássica do tipo C de Arakawa e desenvolvida por *Mesinger e Arakawa (1976)*, tanto na horizontal quanto na vertical. As grelhas escalonadas são frequentemente usadas para a discretização do conjunto de equações, ou seja, variáveis diferentes são definidas em pontos diferentes. Por exemplo, as variáveis escalares são definidas no centro dos volumes  $\Delta x \Delta y \Delta z$ , enquanto que as componentes do vento nas bordas desses volumes. A técnica de aninhamento de grelha (grid-nesting; *Clark e Farley, 1984*) permite simulações simultâneas com vários domínios de diferentes resoluções horizontais, assim como interações nos dois sentidos entre as grelhas de diferentes resoluções (two-way grid nesting).

Em relação à coordenada vertical, devido à topografia estar presente no problema, utiliza-se uma coordenada que acompanha o relevo. No caso do Meso-NH, esta é estabelecida a partir do sistema clássico de coordenadas verticais de *Gal-Chen e Sommerville (1975)*, apresentando uma transformação puramente vertical e permitindo um sistema de coordenadas eficaz para seguir o terreno. Neste caso, o topo do domínio é completamente

plano e o nível mais baixo segue a topografia. Tal sistema é também conhecido como coordenada sigma-z.

Em meteorologia, um sistema de coordenadas naturais é definido pela longitude  $\lambda$ , a latitude  $\phi$  e a distância do centro da Terra  $r$ . No Meso-NH, um sistema de projeção conforme permite a rotação em relação a essa base natural, sendo que três tipos de sistemas de projeções são suportados no modelo: Lambert, Estereográfico Polar e Mercator. Mais detalhes sobre essas fórmulas são encontrados na documentação científica do Meso-NH (Webpage: <http://mesonh.aero.obs-mip.fr/>).

Além disso, o Meso-NH resolve um conjunto de equações, como equação de estado, da dinâmica (conservação de momento), da continuidade (conservação de massa), da termodinâmica (conservação de calor) e de prognósticos de várias espécies da substância água ou hidrometeoros. O modelo possui como variáveis de prognóstico as três componentes do vento, a temperatura potencial, e a água nas suas diferentes fases, sendo consideradas através da razão de mistura até sete classes de hidrometeoros (vapor, gotículas de nuvens, gotas de chuva, cristais de gelo, neve, graupel, e granizo).

Para evitar o problema da rápida propagação de ondas acústicas no sistema de equações, o Meso-NH é implementado com três formulações para aproximação anelástica: o sistema anelástico de *Lipps e Hemler (1982)*, as equações do tradicional Modelo Anelástico Modificado de *Wilhelmson e Ogura (1972)* e o sistema pseudo-incompressível de *Durran (1989)*. Em geral, as ondas acústicas são eliminadas do conjunto de equações pelo uso de um perfil de densidade constante em vez da densidade real do fluido na equação de continuidade e na equação do momento, exceto no termo de fluatibilidade. O fluido se torna, portanto, incompressível, e a pressão é deduzida da solução de uma equação elíptica.

Em termos de experimento numérico, o modelo possui um conjunto de facilidades para preparar os ficheiros fisiográficos e os campos iniciais, os quais podem ser idealizados ou reais, e interpolados a partir das análises ou previsões do Centro Europeu. Além disso, é composto por um pacote completo de parametrização de processos físicos que ocorrem na atmosfera, como convecção, microfísica de nuvens, atividade elétrica das nuvens, turbulência, processos de superfície, entre outros. Após a integração do modelo, o pós-processamento é realizado a partir do diagnóstico das variáveis de interesse, as quais podem ser visualizadas no software gráfico do próprio modelo. Neste relatório, os principais aspetos do modelo são descritos de acordo com o trabalho realizado, no entanto, suas capacidades

são encontradas na documentação científica do Meso-NH (Lafore et al., 1998; Lac et al., 2018).

Outra característica importante do Meso-NH são os ficheiros de saída, escritos por um grupo de 2 ficheiros. No primeiro, a parte descritiva (.des) contém as informações sobre a geração do ficheiro e a sua descrição (em ASCII). No segundo, também conhecido como parte binária, os campos são armazenados e podem ter dois formatos diferentes (NetCDF, ficheiros com sufixo .nc; e LFI, ficheiros com sufixo .lfi).

## 2.2 Preparação da experiência numérica

Cada etapa de uma experiência numérica é controlada por um ficheiro de “namelists”. Este é o procedimento padrão associado a uma simulação do Meso-NH. As etapas realizadas neste trabalho são mostradas no fluxograma da Figura 2.1.

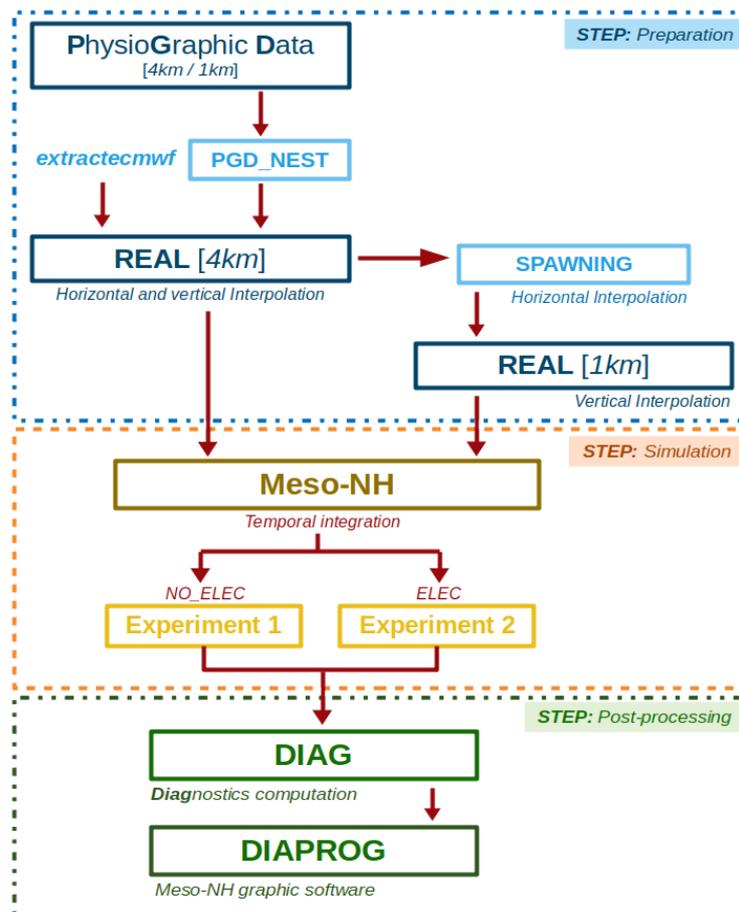


Figura 2.1: Fluxograma referente as etapas realizadas no trabalho.

A preparação de uma experiência é uma mescla de duas tarefas. Nesta etapa, todos os ficheiros fisiográficos devem ser preparados a partir do programa PREP\_PGD e para todos os domínios considerados. Esses ficheiros PGD (PhysioGraphic Data) são verificados e a conformidade entre eles é imposta por meio do programa PREP\_NEST para o caso de se utilizarem grelhas aninhadas. Somente após esta etapa, são criados os ficheiros com os campos iniciais e de forçamento para o qual é necessária a interpolação dos dados verticais de campos atmosféricos, o que é realizado através do programa PREP\_REAL\_CASE. Estas tarefas são descritas individualmente abaixo.

### *2.2.1 Etapa PGD: Ficheiros fisiográficos*

Uma boa representação da superfície é importante para os modelos numéricos reproduzirem realisticamente os eventos meteorológicos, bem como padrões climatológicos que são gerados pela topografia, por exemplo. Da mesma forma, um conhecimento acerca da superfície terrestre, das superfícies aquáticas, assim como da distribuição dos diferentes tipo de vegetação, cobertura do solo e áreas urbanas é necessário para o cálculo dos fluxos de calor e humidade sobre superfícies continentais e oceânicas. Por outro lado, outros campos de superfície, como o albedo e a emissividade, têm efeitos diretos no balanço da radiação na superfície e na atmosfera.

Como mencionado acima, a criação de um ficheiro contendo todos os campos de superfície necessários para a integração do modelo é a primeira tarefa a ser executada. O ficheiro PGD (ficheiro dos dados fisiográficos) é obtido pelo programa PREP\_PGD, o qual interpola os dados fisiográficos na grelha definida pelo utilizador. Estes ficheiros possuem somente informações fisiográficas.

O sistema Meso-NH oferece aos utilizadores a escolha de suas próprias fontes fisiográficas (PGD) ou fazer uso de uma base de dados standard, que se baseia em "ficheiros de dados" com um formato simples e resolução de 1 km para todo o mundo, garantindo assim uma correta representação da superfície que será considerada na simulação. As informações standard vêm de fontes distintas, como por exemplo, ecoclimap para cobertura de solo e o gtopo30 para orografia. Todos os dados fisiográficos necessários para as diferentes parametrizações do modelo são obtidas a partir dessas bases de dados.

Uma informação importante é o tipo de cobertura da superfície e representa o tipo de paisagem presente em determinado local (ou seja, mar, rio, floresta, cidade, deserto, etc.). O ficheiro standard contém cerca de 250

tipos de superfícies, o que é suficiente para derivar parâmetros de vegetação em todo o mundo. Em uma escala global, a linha de costa, lagos e rios relacionam 15 tipos de cobertura a partir de observações de satélite. No entanto, como essa classificação leva em consideração apenas o padrão mais geral da superfície, um mapa de climas é utilizado para adicionar uma discriminação entre esses tipos de cobertura, com 16 climas sendo usados. A combinação dos 15 tipos de cobertura e 16 climas para os seis continentes leva a um número importante de “ecossistemas” possíveis, representativos de um comportamento da vegetação, e tipos de cobertura da superfície no mundo. Outra característica importante das informações fisiográficas é a orografia utilizada. No caso presente foi utilizada a base de dados SRTM com uma resolução horizontal de aproximadamente 90m. No que diz respeito à composição do solo, este é suposto ser uniforme em toda sua profundidade, mas variando horizontalmente e é definido pelas suas frações de areia e argila, a partir da base de dados da Harmonized World Soil Database (HWSD).

Para preparar um ficheiro contendo dados fisiográficos, um ficheiro com namelists PRE\_PGD1.nam é utilizado. O programa PREP\_PGD prepara os dados fisiográficos necessários para a integração do modelo, contendo também a definição da projeção, resolução horizontal e domínio. O Meso-NH foi executado sobre a grelha definida nesta etapa.

Neste trabalho, o modelo foi configurado com dois domínios aninhados. O domínio maior foi configurado com uma resolução horizontal de 4 km e 192x192 pontos de grelha, enquanto o domínio interno foi definido com resolução horizontal de 1 km e 384x384 pontos de grelha. Os dois domínios foram centrados na região de Pedrógão Grande. Todas essas instruções são especificadas nas namelists dos ficheiros PRE\_PGD.nam, um para cada domínio. Em relação aos dados fisiográficos, o modelo foi preparado com a base de dados standard para cobertura de superfície (ecoclimap\_v2.0) e tipo de solo (HWSD à 1 km de resolução, v2, global), enquanto que a orografia foi obtida a partir da base de dados SRTM. As namelists utilizadas em cada PRE\_PGD.nam são apresentadas no Anexo A (namelists 1 e 2).

Após a etapa PREP\_PGD, o programa PREP\_NEST\_PGD verifica todos os ficheiros PGD para impor a conformidade da orografia entre eles. Este programa é utilizado apenas em simulações com aninhamento de grelha por meio da namelist PRE\_NEST\_PGD1.nam. No caso de uma simulação em que dois ou mais domínios serão integrados interativamente, a resolução média da orografia dos domínios internos deve ser igual a da orografia da grelha do domínio pai.

Portanto, depois de executar o PREP\_PGD para cada um dos domínios foi necessário executar o PREP\_NEST\_PGD utilizando o ficheiro de namelists PRE\_NEST\_PGD.nam (Anexo A, namelist 3), responsável por aninhar os dois domínios horizontais definidos na etapa do PGD. A Figura 2.2 mostra o resultado da configuração do modelo, com o domínio maior de resolução horizontal de 4 km e o domínio interior com resolução de 1 km. A mesma figura apresenta a orografia para o domínio maior obtida a partir da base de dados SRTM.

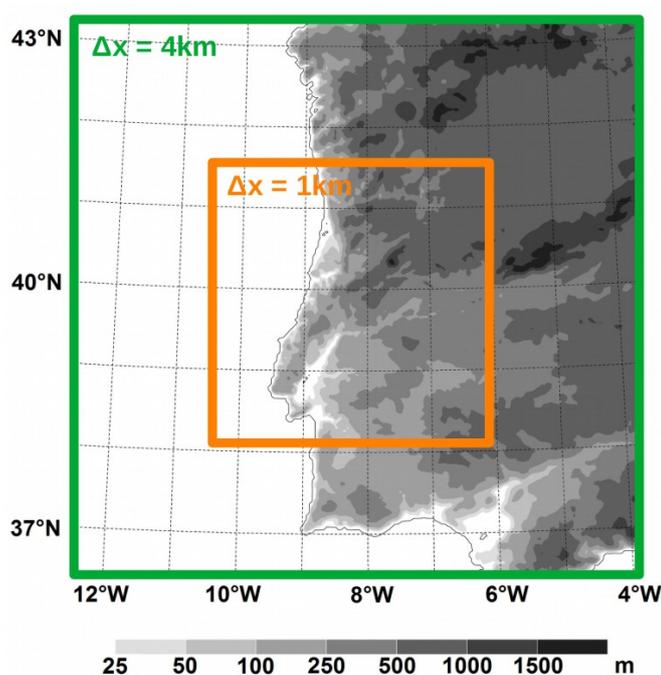


Figura 2.2: Configuração do modelo com o domínio maior de resolução horizontal de 4 km e o domínio interior com resolução de 1 km. A orografia foi obtida a partir da base de dados SRTM.

### 2.2.2 Etapa REAL: campos iniciais para situações reais

A simulação de situações meteorológicas reais é um aspeto importante do Meso-NH. Como modelo de área limitada, o Meso-NH requer condições atmosféricas iniciais e de contorno, que são utilizadas para inicializar as variáveis de prognóstico, e forçar a sua evolução ao longo da fronteira exterior. Para os estudos de casos reais, os campos iniciais e contorno podem ser fornecidos por análises ou previsões de modelos globais de previsão do tempo, nomeadamente o do Centro Europeu de Previsão do Tempo a Médio Prazo (ECMWF). Um ficheiro Meso-NH, proveniente de uma

simulação de resolução mais baixa, também pode ser utilizado para fornecer os campos iniciais.

Portanto, antes de executar o programa PREP\_REAL\_CASE, é necessário obter tais condições iniciais. No caso do presente trabalho, essas condições foram obtidas a partir das análises do Centro Europeu, sendo utilizada a ferramenta `extractecmwf` disponibilizada nas máquinas do ECMWF, que permite a extração de um arquivo GRIB contendo os campos meteorológicos de superfície e altitude. A extração tem de ser efetuada para cada data e hora. Na prática, foi utilizada uma sequência desses ficheiros, que são separados por 6 horas. O primeiro ficheiro foi utilizado para inicializar a simulação do Meso-NH e os ficheiros subsequentes foram utilizados para atualizar as condições de contorno em termos de forçamento de larga escala.

Nesta etapa, o ficheiro de namelists `PRE_REAL1.nam` contem as diretrizes para executar o programa PREP\_REAL\_CASE, tal como o nome do ficheiro produzido na etapa anterior e a definição da grelha vertical (Anexo A, namelist 4). O modelo foi configurado com 50 níveis verticais desigualmente espaçados. Nesta etapa é efetuada a interpolação das condições atmosféricas de larga escala para a grelha estabelecida anteriormente.

Como neste trabalho se recorreu a aninhamento de grelhas, foi necessário executar ainda um programa designado por SPAWNING, configurado pelo ficheiro de namelists `SPAWN1.nam` (Anexo A, namelist 5). Este procedimento executa a interpolação para a grelha mais fina (a 1 km de resolução) dos campos produzidos para o domínio de 4 km. Esta tarefa fornece o ficheiro de entrada para a execução do procedimento PREP\_REAL\_CASE para o domínio de 1 km (Anexo A, namelist 6). Estes procedimentos preparatórios produzem os ficheiros de saída necessários para iniciar e realizar a simulação.

### **2.3 Simulação**

A integração temporal do modelo foi realizada nesta etapa. O ficheiro de namelists `EXSEG.nam` fornece as diretrizes necessárias para executar um segmento de simulação, especificando alguns parâmetros do modelo. Quando se consideram domínios aninhados, cada um deles precisa de sua própria namelist `EXSEG.nam`. No presente trabalho foi utilizado um ficheiro de namelists para o domínio de 4 km de resolução e outro para o de 1 km. Tais namelists contém os principais aspetos físicos da experiência, bem como o período a ser simulado, a quantidade e frequência das saídas. Após a

integração do modelo, os ficheiros de saída são de dois tipos. O primeiro, síncrono, são os ficheiros para um determinado instante da simulação, e contém os campos de prognóstico (o nome do arquivo termina em 00n com  $n > 0$ ). O segundo, o ficheiro diacrónico, contém séries temporais dos campos de diagnóstico ou prognóstico (o nome do arquivo termina em 000).

No trabalho, foram realizadas duas experiências numéricas e, portanto, esta secção foi dividida em duas partes, descrevendo as principais características de cada uma delas. A primeira experiência foi realizada com a configuração convencional para uma simulação numérica de alta resolução, enquanto na segunda experiência se ativou o esquema elétrico para o domínio de 1 km de resolução.

### *2.3.1 Primeira experiência: esquema elétrico não ativado*

Na primeira experiência o esquema elétrico não foi ativado. As namelists utilizadas para cada domínio encontram-se no Anexo A (namelists 7 e 8). O modelo foi integrado a partir das 0600 UTC com os dois domínios aninhados e saídas a cada 30 minutos a partir das 1200 UTC. O Meso-NH também foi executado com um pacote completo de parametrizações físicas, como por exemplo, turbulência, radiação, microfísica de nuvens, e convecção profunda para o domínio de 4 km, a qual foi explicitamente resolvida no domínio interno (1 km).

### *2.3.2 Segunda experiência: esquema elétrico ativado*

A experiência foi realizada com a mesma configuração física da primeira experiência, exceto no que respeita à eletricidade atmosférica. Recorrendo à técnica RESTART, a simulação foi relançada, ativando o esquema elétrico a partir das 1400 UTC, além de determinar saídas a cada 15 minutos. Neste caso, o esquema CELLS foi ativado apenas para o domínio interno. As namelists utilizadas encontram-se no Anexo A (namelists 9 e 10).

## **2.4 Organização dos ficheiros da simulação no supercomputador do ICT**

A simulação foi efetuada e arquivada no supercomputador do Instituto de Ciências da Terra (Polo de Évora). A simulação foi organizada seguindo a Tabela 1 do Anexo B.

## **2.5 Pós-processamento**

O pós-processamento é composto pelas etapas de diagnóstico e processamento gráfico como descrito abaixo.

### *2.5.1 Diagnóstico após a simulação*

Após a integração do modelo, o programa DIAG foi utilizado para calcular variáveis de diagnóstico, controlado por meio das namelists disponíveis em DIAG1.nam. As namelists indicam quais os diagnósticos requeridos pelo utilizador, bem como o nome dos ficheiros de entrada e o sufixo que os ficheiros de saída terão. Os parâmetros considerados neste trabalho estão escritos nas namelists de exemplo DIAG1.nam (Anexo A, namelist 11). No Anexo B, a Tabela 2 mostra os ficheiros obtidos com a execução do programa DIAG com as namelists DIAG1.nam.

Para explorar as variáveis elétricas, as saídas obtidas pela simulação com resolução de 1 km foram convertidas em ficheiros diacrónicos utilizando o programa conv2dia (Anexo B, Tabela 1, última coluna).

### *2.5.2 Processamento gráfico das saídas do modelo*

O processamento gráfico dos resultados das simulações Meso-NH pode ser efetuado utilizando diversos softwares disponíveis e também por um programa gráfico desenvolvido especificamente para esse fim, o diaprog. Este programa, utilizado no presente trabalho, permite visualizar os campos do modelo (1D, 2D ou 3D), assim como a grelha horizontal e vertical. A interface para o utilizador é constituída por uma série de instruções inseridas na linha de comando ou contidas em ficheiros ASCII. As saídas do Meso-NH, já no formato diacrónico, estão resumidas na Tabela 3 (Anexo B).

### 3. VALIDAÇÃO DOS RESULTADOS NUMÉRICOS

Neste capítulo, apresentam-se os resultados da validação da simulação, a qual foi feita a partir da comparação dos dados meteorológicos disponíveis com as saídas do Meso-NH.

#### 3.1 Ar superior (radiossonda)

Os dados relativos à estrutura vertical da atmosfera analisados no trabalho foram obtidos pela radiossonda lançada em Lisboa às 1200 UTC, no dia 17 de Junho de 2017. Esses dados são disponibilizados pela Universidade de Wyoming e os dados considerados neste trabalho são mostrados no Anexo C. Na Figura 3.1, o diagrama termodinâmico observado pode ser comparado com o diagrama simulado pelo modelo. Verifica-se que o modelo produziu uma boa representação do perfil vertical de temperatura e da temperatura do ponto de orvalho, para o instante considerado.

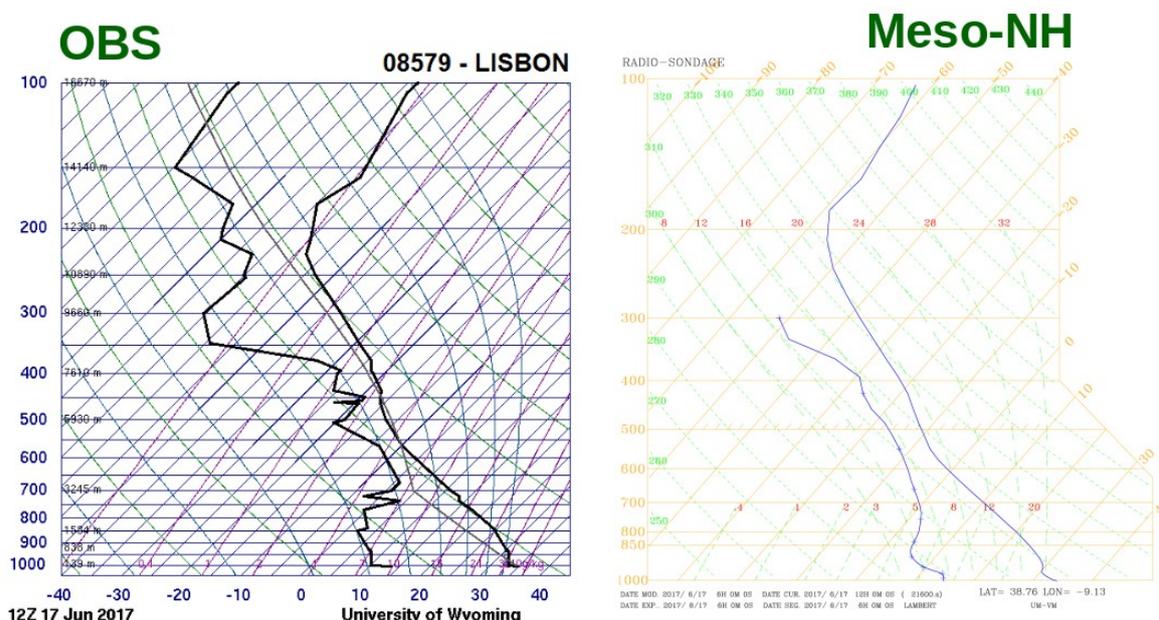


Figura 3.1: Diagrama termodinâmico observado (à esquerda) e diagrama simulado pelo modelo (à direita).

A extração de valores de alguns campos simulados foi feita por meio do programa mesonh2obs, possibilitando a comparação entre os dados da radiossonda e as saídas do modelo. A Figura 3.2 mostra a comparação entre o perfil vertical de algumas variáveis meteorológicas obtidas a partir da sondagem em Lisboa e simuladas à 4 km e 1 km de resolução. A razão de

mistura de vapor de água (MRV) mostra um pequeno desvio nos níveis mais baixos (~ 500 m), com uma super-estimação pelo modelo (Figura 3.2a). A temperatura está muito bem representada (Figura 3.2b). Para as outras variáveis, como temperatura potencial (Figura 3.2c), temperatura potencial equivalente (Figura 3.2d) e temperatura potencial virtual (Figura 3.2e), a comparação também mostrou bons resultados.

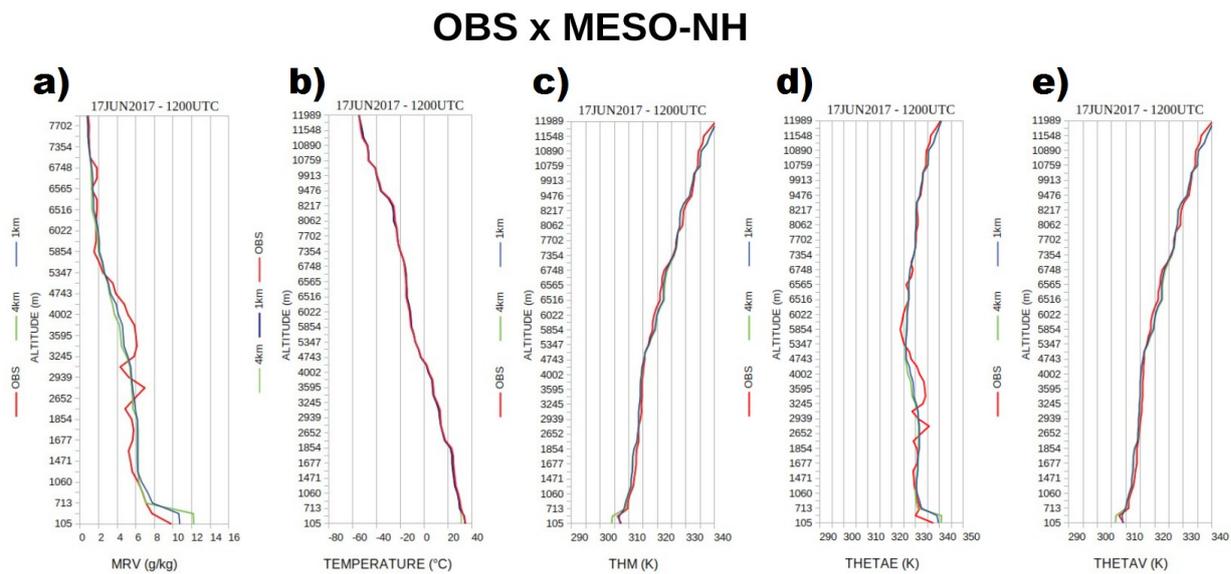


Figura 3.2: Comparação entre o perfil vertical de algumas variáveis meteorológicas obtidas a partir da sondagem em Lisboa e simuladas à 4 km e 1 km de resolução. (a) razão de mistura de vapor de água (MRV), (b) temperatura, (c) temperatura potencial, (d) temperatura potencial equivalente e (e) temperatura potencial virtual.

### 3.2 Superfície (rede de estações meteorológicas)

Para avaliar a representação das variáveis na superfície, as observações da temperatura do ar e humidade relativa em 76 estações meteorológicas foram utilizadas para a comparação com os seus respetivos campos simulados. Esses dados meteorológicos foram fornecidos pelo Instituto Português do Mar e da Atmosfera, I.P. (IPMA, IP) e as estações selecionadas estão representadas na Figura 3.3. No Anexo D é possível encontrar os detalhes de cada estação meteorológica (por exemplo, número de ID, latitude, longitude, altitude e município). A rede de estações é dividida em 3 tipos, a saber, estação urbana (RUEMA, Tabela 1), as estações automáticas principal (EMAI, Tabela 2) e as estações climatológicas (EMAI, Tabela 3).

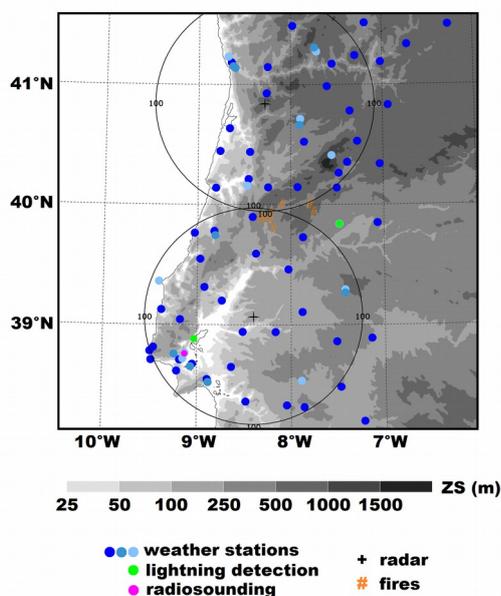


Figura 3.3: localização das estações meteorológicas do IPMA, dos sensores de deteção de raios, dos radares meteorológicos, da estação de ar superior e os focos de incêndios.

As Figuras 3.4a e 3.4b mostram a comparação entre a observação e a simulação de temperatura e humidade relativa à 2 metros às 1430 UTC, respetivamente. Nas figuras, os quadrados representam os registos das variáveis meteorológicas em cada estação. Globalmente, os valores de temperatura à 2 metros são bem representados pelo modelo (Figuras 3.4a). Em relação à humidade relativa à 2 metros, apesar de alguma super- ou subestimação pontual, o modelo também capturou bem a distribuição horizontal da humidade relativa (Figura 3.4b).

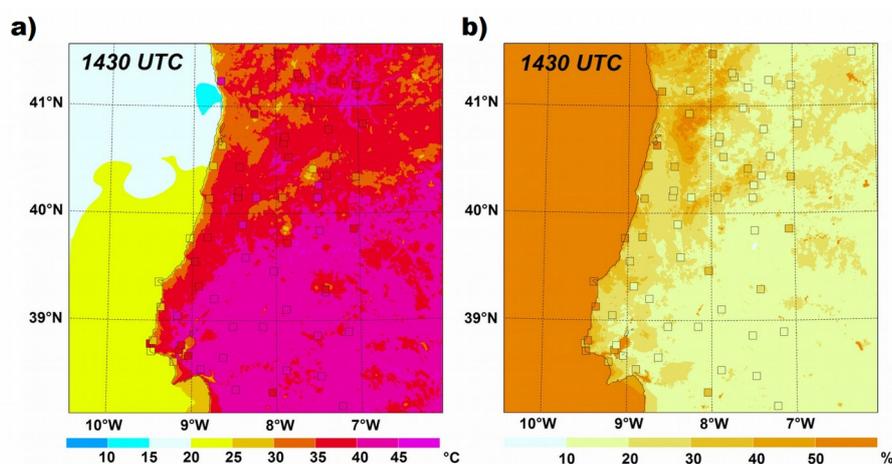


Figura 3.4: Comparação entre a observação e a simulação de (a) temperatura e (b) humidade relativa à 2 metros às 1430 UTC. Os quadrados representam os registos das variáveis meteorológicas em cada estação meteorológica.

### 3.3 Sistema de nuvens (RADAR)

O Meso-NH possui um diagnóstico de radar definido pela refletividade radar em cada ponto de grelha, a qual é estimada como a soma das refletividades produzidas por cada hidrometeoro (simulado) iluminado pelo feixe do radar. Admite-se que o comprimento de onda do radar é grande o suficiente para que as ondas sejam propagadas sem atenuação e que a aproximação de espalhamento de Rayleigh é válida (*Richard et al., 2003*).

Um diagnóstico de radar para Plan Position Indicators (PPI) é um simulador alternativo, cujos cones são projetados em um plano horizontal determinado pela varredura da atmosfera a uma elevação constante. Esse simulador foi desenvolvido por *Caumont et al. (2006)* para radar meteorológico convencional, podendo ser explorado dentro da etapa de pós-processamento da simulação. Atualmente, *Augros et al. (2016)* construíram uma versão atualizada deste simulador, permitindo calcular variáveis de radar polarimétrico de bandas S, C e X. O retro-espalhamento e a atenuação são considerados no cálculo da refletividade de radar, bem como as características de cada hidrometeoro e é, portanto, completamente consistente com o esquema de microfísica do modelo.

O esquema de microfísica utilizado neste trabalho é conhecido como esquema ICE3 (*Pinty e Jabouille, 1998*) e baseia-se em várias categorias de hidrometeoros, incluindo uma equação de prognóstico para cada uma. O esquema ICE3 prevê a razão de mistura de seis categorias da substância água. Além do vapor, considera duas categorias de água líquida (gotículas de nuvens e gotas de chuva) e três categorias de partículas de água sólida (cristais de gelo, neve e graupel). O ICE3 resolve as múltiplas interações entre os diferentes tipos de hidrometeoros, parametrizando vários processos de microfísica (por exemplo, condensação, evaporação, sedimentação, fusão, etc.).

O desenvolvimento de sistemas de nuvens foi investigado procurando avaliar a sua representação pelo modelo, tomando atenção principalmente às propriedades microfísicas. Para esse efeito, a refletividade do radar foi analisada e comparada com as saídas do modelo (Figura 3.5).

A evolução de um sistema convectivo de mesoescala (SCM) sobre a região central de Portugal ao longo da tarde de 17 de Junho de 2017 foi identificada a partir da refletividade do radar. Por meio do simulador, os resultados para o radar de Arouca e elevações de  $2.8^\circ$  e  $3.7^\circ$  mostram que o modelo representa bem a localização e a estrutura da bigorna do sistema (Figura 3.5a-d). No entanto, a refletividade dos núcleos convectivos no interior do sistema é ligeiramente subestimada pelo modelo e melhor

representada para a elevação de 3.7°. Para o radar de Coruche, os núcleos convectivos isolados na metade sul da varredura são bem capturados, enquanto a refletividade do radar associada à convecção profunda no SCM é subestimada pelo modelo (Figura 3.5e-f). É de ressaltar que a bigorna do SCM foi bem representada na região de Pedrógão Grande.

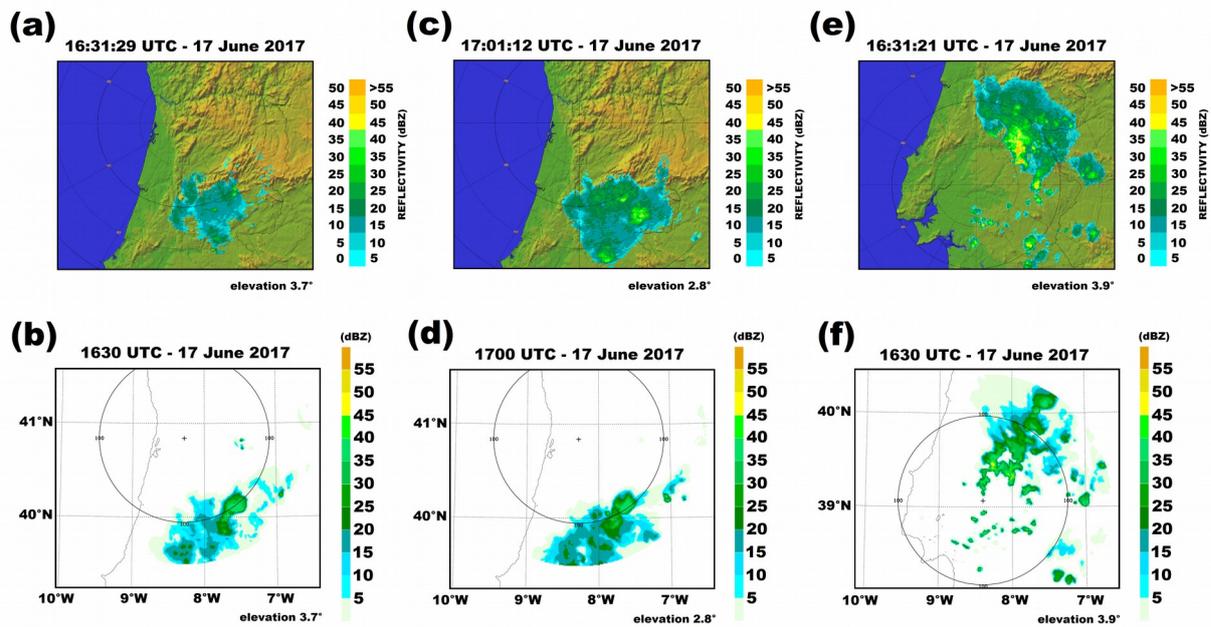


Figura 3.5: Refletividade radar para (a) Arouca (observada à 3.7°), (b) Arouca (simulada à 3.7°), (c) Arouca (observada à 2.8°), (d) Arouca (simulada à 2.8°) (e) Coruche (observada à 3.9°) e (f) Coruche (simulada à 3.9°).

As Figuras 3.6a e 3.6b mostram uma secção vertical da refletividade radar, observada e simulada, respetivamente. A estrutura vertical do sistema convectivo sobre a região onde os incêndios florestais ocorreram é marcada por uma bigorna. Nas figuras, a bigorna é observada estendendo-se para oeste a partir do núcleo convectivo por cerca de 50 km e com uma profundidade de aproximadamente 4 km. Tais características foram qualitativamente bem capturadas pelo modelo, mesmo se a refletividade dos núcleos convectivos foi um pouco super-estimada pelo modelo.

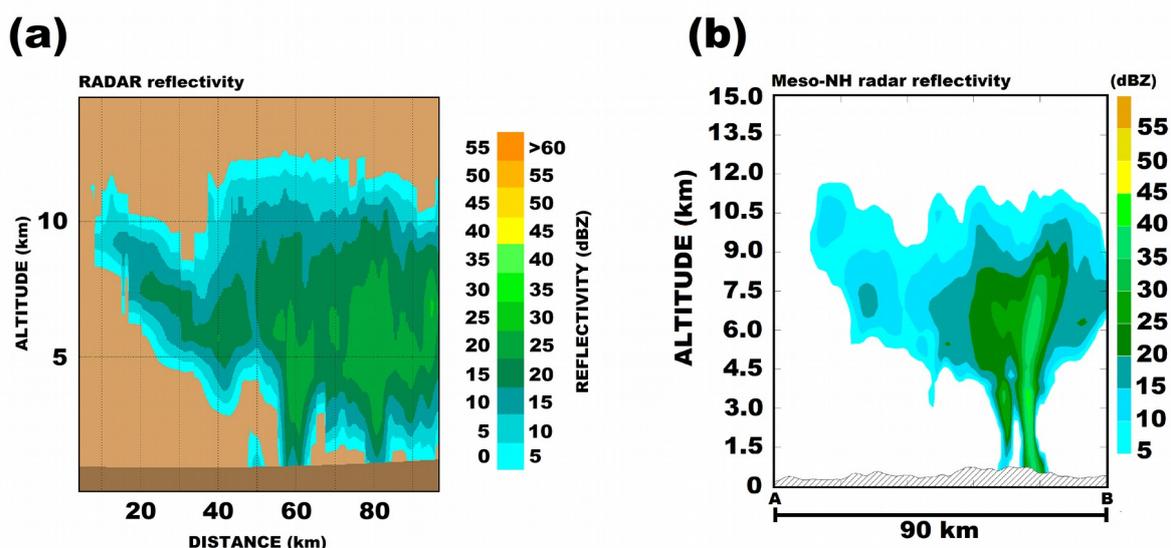


Figura 3.6: Secção vertical da refletividade do radar (a) observada e (b) simulada.

### 3.4 Descargas elétricas atmosféricas

#### 3.4.1. Rede de deteção do IPMA

A última parte de validação do modelo esteve relacionada com a atividade elétrica durante a tarde de 17 de Junho de 2017. No trabalho, os dados de descargas elétricas do tipo nuvem-solo registados pelo sistema nacional de deteção de raios do IPMA foram analisados. Segundo o relatório *IPMA (2017)*, a rede de deteção de raios em Portugal é composta por 4 sensores LS7002 (VAISALA). A localização dos sensores existentes na região de estudo é exibida na Figura 3.3.

A rede de sensores é capaz de detetar o local da descarga elétrica com uma precisão máxima de 250 metros e uma eficiência de 95% para descargas atmosféricas do tipo nuvem-solo e 50% para descargas do tipo nuvem-nuvem. O sistema fornece informações sobre as descargas, como local, data, hora com resolução de milissegundos, tipo de raio, polaridade, intensidade, erro de localização, entre outros. A coordenada da localização está relacionada ao ponto de impacto na superfície. O sensor Alverca não esteve disponível durante o período considerado no trabalho, no entanto, de acordo com o relatório *IPMA (2017)*, o sistema possui uma boa cobertura de deteção, o suficiente para que a determinação da localização dos raios na região de estudo não tenha sido significativamente afetada.

### 3.4.2. Parametrização da atividade elétrica (esquema CELLS)

A descrição do estado elétrico de uma trovoadas é baseada na distribuição das densidades de cargas elétricas, no cálculo do campo elétrico e na produção de raios quando um valor crítico do campo elétrico é atingido (*Barthe et al., 2005, 2012*). As cargas elétricas são transferidas por cada hidrometeoro, e também por iões positivos e negativos para completar o balanço total da densidade de carga. O esquema elétrico do Meso-NH é um esquema bulk, em que cada tipo de hidrometeoro possui uma polaridade, e as densidades de carga são variáveis de estado que seguem a evolução microfísica das razões de mistura. A eletrificação de uma nuvem envolve principalmente o mecanismo não indutivo, um processo de separação de carga que ocorre após a colisão entre duas partículas de gelo de diferentes categorias (cristais de gelo, neve e graupel) na presença de água super-resfriada. O mecanismo não indutivo foi parametrizado de acordo com *Saunders et al. (1991)*. A razão de eletrificação, assim como a polaridade obtida pela maior partícula durante uma colisão (oposta para a menor), é uma função da temperatura. Por outro lado, uma descarga elétrica é acionada quando o módulo do campo elétrico ultrapassa um valor crítico local. O raio propaga-se primeiro verticalmente e depois horizontalmente ao longo de duas camadas de polaridade oposta no interior da trovoadas. O esquema CELLS considera tanto descargas atmosféricas do tipo nuvem-nuvem quanto do tipo nuvem-solo. As descargas reduzem o stresse elétrico dentro das nuvens, neutralizando a mesma quantidade de cargas (raio nuvem-nuvem) ou um excesso de cargas (raio nuvem-solo), dando assim a polaridade do raio.

Portanto, o cálculo do campo elétrico e o esquema de descargas elétricas que levam à neutralização parcial e local das cargas completam o esquema elétrico CELLS (*Barthe et al., 2012; Bovalo et al., 2019*). O esquema é uma primeira representação realista das propriedades elétricas de sistemas precipitantes (*Pinty et al., 2013*).

### 3.4.3 Comparação entre descargas elétricas detetadas e simuladas

As descargas atmosféricas do tipo nuvem-solo registadas e produzidas pelo esquema CELLS são apresentadas nesta sub-secção. Os raios observados pelo sistema de deteção durante o período entre 1200 UTC e 2359 UTC são exibidos na Figura 3.7a, com descargas elétricas positivas e negativas registadas a leste e sudeste de Pedrógão Grande. Segundo o relatório do *IPMA (2017)*, houve um total de 225 descargas atmosféricas em um raio de

50 km a partir do ponto de ignição do incêndio de Pedrógão Grande. Destes, 123 tiveram uma polaridade negativa e 102 uma polaridade positiva.

O traçado de densidade de raios do tipo nuvem-solo produzidos pelo modelo, entre 1400 UTC e 2000 UTC, é mostrado na Figura 3.7b. Este valor é o resultado da projeção vertical na superfície de todos os pontos da grelha alcançáveis pelo raio nuvem-solo, de modo que o mapa final (Figura 3.7b) corresponde mais ou menos à densidade das extensões de traçado dos raios nuvem-solo. A região de densidade máxima de raio nuvem-solo encontra-se a leste de Pedrógão Grande. No entanto, a área que poderia ser afetada por pelo menos um raio nuvem-solo se estende de sul para nordeste de Pedrógão Grande, sendo totalmente consistente com as observações. Portanto, é de ressaltar a eficiência do modelo em representar as descargas elétricas. Entretanto, uma boa representação da localização e da estrutura do SCM foi essencial para uma representação mais realista dos raios nuvem-solo.

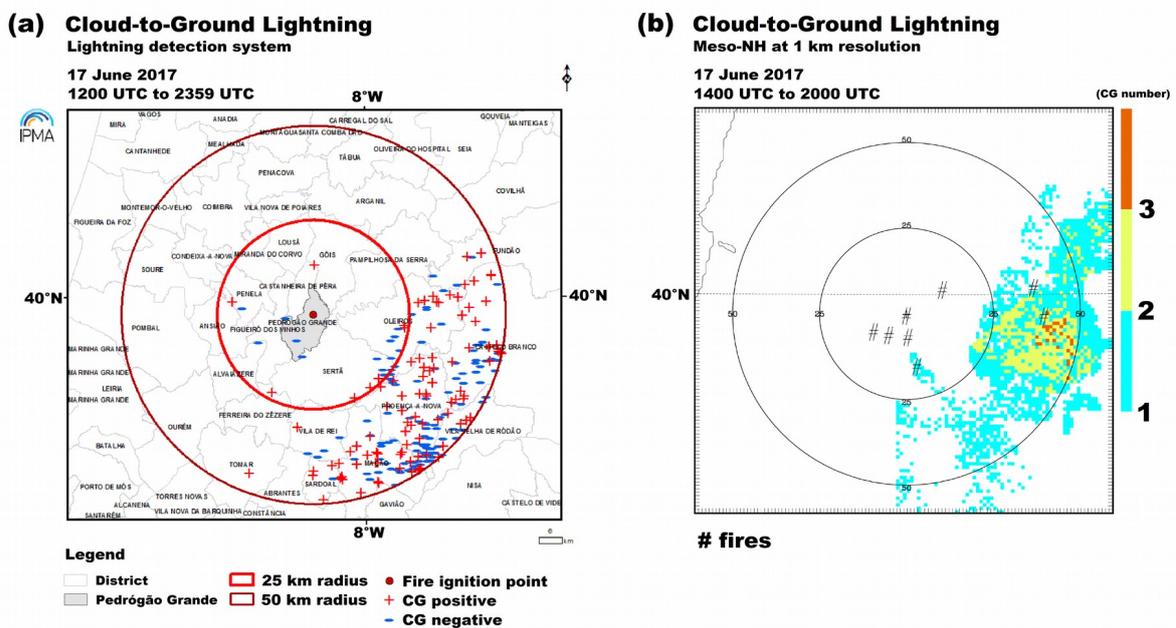


Figura 3.7: (a) raios observados pelo sistema de deteção durante o período entre 1200 UTC e 2359 UTC e (b) densidade de raios do tipo nuvem-solo produzidos pelo modelo, entre 1400 UTC e 2000 UTC. Símbolos (#) representam a localização dos fogos.

## **4. USO DO ESQUEMA CELLS PARA INVESTIGAR A IGNIÇÃO DE INCÊNDIOS FLORESTAIS**

### **4.1. Contexto geral**

Os incêndios iniciados em 17 de junho de 2017 ocorreram num dia excepcionalmente quente e durante um período prolongado de seca, marcado por uma primavera quente e seca, a qual foi precedida por um inverno seco. Tal período determinou os baixos níveis de humidade da vegetação local. Além disso, grande parte da região não ardia há mais de 20 anos, resultando numa elevada acumulação de combustível florestal e um alto risco de incêndio. Deste modo, qualquer ignição num local com vegetação e orografia favoráveis poderia levar um incêndio a se desenvolver para além de sua capacidade de extinção.

### **4.2 Eventos de incêndios florestais considerados no trabalho**

De acordo com o relatório oficial das autoridades portuguesas (CTI report, 2017), nove fogos foram relatados durante a tarde de 17 de Junho de 2017. Apesar de ter existido um aceso debate na comunidade técnico-científica, o relatório concluiu que os incêndios de Pedrógão Grande e Góis terão sido causados por descargas elétricas a partir de uma linha de transmissão de energia e por um raio nuvem-solo, respetivamente. Além disso, outros três incêndios ocorridos nesse dia terão sido também, provavelmente, causados por descargas atmosféricas, enquanto que outros três não tiveram uma origem claramente definida e um foi atribuído a pessoas piromaníacas. Este trabalho não considerou apenas o episódio de Pedrógão Grande, mas todos os pequenos fogos relatados durante o período, os quais estão indicados na Figura 3.3.

### **4.3 Aplicabilidade do CELLS na identificação de áreas que podem ser afetadas por raios**

Na Figura 3.7b, os símbolos (#) indicam os locais dos incêndios iniciados durante o período de estudo. A ocorrência de descargas atmosféricas nos pontos onde os incêndios foram iniciados é evidente. Em relação aos incêndios apontados como “iniciados por raios” pelo CTI report (2017), três dos quatro eventos, nomeadamente os eventos de Oleiros, são encontrados na área em que o modelo simula a possibilidade de ocorrência de raios. No entanto, para o incêndio de Góis e, em contraste com o relatório, o modelo sugere que a ignição não terá sido devida a um raio. Por outro lado, o incêndio em Sertã (sem causa atribuída) poderia ser considerado como causado por um raio, uma vez que o local do incêndio e o resultado do modelo são coincidentes.

## 5. AVANÇOS CIENTÍFICOS - MANUSCRITO (RESUMO)

Foi submetido o seguinte artigo a uma revista científica de reconhecimento internacional, a Atmospheric Research (<https://www.journals.elsevier.com/atmospheric-research>), estando atualmente em fase de revisão por pares (peer review). Assim que publicado o artigo será anexo a este relatório.

**Título:** Lightning modelling for the research of forest fire ignition in Portugal

**Autores:** Flavio Tiago Couto<sup>1</sup>, Maksim Iakunin<sup>1</sup>, Rui Salgado<sup>1,2</sup>, Paulo Pinto<sup>3</sup>, Tânia Viegas<sup>3</sup>, Jean-Pierre Pinty<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Instituto de Ciências da Terra - ICT (Polo de Évora), Évora, Portugal.

<sup>2</sup> Departamento de Física, Escola de Ciências e Tecnologia, Évora, Portugal.

<sup>3</sup> Instituto Português do Mar e da Atmosfera (IPMA), Lisboa, Portugal.

<sup>4</sup> Laboratoire d'Aérodynamique, Université de Toulouse, Toulouse, França.

### *Abstract*

The study aims to assess the applicability of the current Meso-NH electrical scheme (CELLS) in the investigation of forest fire ignition. Therefore, the challenge is to diagnose cloud-to-ground (CG) lightnings at 1 km spatial resolution and, subsequently, preferred regions where Forest Fire Events (FFE) could be naturally ignited. The afternoon of 17th June 2017 has been considered for the study, since the dry thunderstorm environment configured a perfect scenario for natural ignition and evolution of some fires. The Pedrógão Grande wildfire ignited in this period and was the deadliest single fire event in the Portuguese history, with at least 60 people killed. The available observational data are used to validate the numerical results and to provide a brief characterization of the meteorological environment when jointly analysed with the simulation. In addition, cloud microphysics and cloud electrical structure are explored from the model results. The spatial distribution of the simulated CG lightnings showed a good agreement with the lightning strokes obtained from the national lightning detection network. Overall, this paper introduces a possible application of the Meso-NH electrical scheme, namely the study of forest fire ignition by lightning strokes.

**Keywords:** fire ignition; lightning modelling; radar simulator; Meso-NH model; fire weather.

## 6. NOTAS FINAIS

Neste trabalho discute-se a possibilidade de um modelo de previsão do tempo acoplado a um modelo de eletricidade atmosférica fornecer informação útil relativamente à possibilidade de ocorrência de trovoadas secas e descargas elétricas nuvem-solo passíveis de servir de ignição de incêndios florestais. Em concreto, apresenta-se uma possível aplicação do esquema elétrico CELLS incluído no modelo atmosférico Meso-NH à previsão de risco de ignição de incêndios florestais por raios naturais. As vantagens de tal abordagem vão além da utilização do Meso-NH no estudo da ignição de incêndios. A partir dos avanços computacionais, já é possível representar as complexas interações atmosfera-fogo por meio do acoplamento numérico entre os modelos atmosféricos e os modelos de propagação de fogos (por exemplo, *Filippi et al., 2009, 2011, 2013*). No futuro, o acoplamento de tais capacidades numéricas permitirá um conhecimento mais completo de incêndios florestais causados naturalmente, sendo possível estimar vários aspetos associados com a ignição natural e a evolução de incêndios numa mesma simulação numérica.

Em geral, o Meso-NH capturou com sucesso o ambiente atmosférico durante o período do estudo, o qual foi discutido no artigo elaborado. A eficiência e a precisão do esquema elétrico em representar a distribuição espacial dos raios na região onde alguns incêndios foram relatados foi confirmada, tornando possível sua aplicação no estudo de incêndios florestais causados naturalmente. Obviamente, existe uma complexa interação entre condições atmosféricas, incêndios, florestas, e um entendimento sobre essas relações é essencial para melhor prever a ignição natural e a evolução de fogos em Portugal.

Em resumo, este trabalho foi elaborado para explorar algumas capacidades do Meso-NH e aplicá-las no estudo de eventos de incêndios florestais em Portugal. Os resultados de tal trabalho podem ser úteis ao futuro desenvolvimento de um sistema operacional para a avaliação de risco natural de ignição de incêndios, nomeadamente partindo dos modelos de previsão do tempo atualmente utilizados pelas autoridades meteorológicas nacionais, o IPMA em Portugal e a AEMET em Espanha. Constatou-se que o esquema CELLS pode ser utilizado para estimar a possibilidade e as regiões onde incêndios florestais podem ser originados naturalmente.

## 7. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a ativa colaboração de Maksim Iakunin, Paulo Pinto, Tânia Viegas, e Jean-Pierre Pinty no desenvolvimento deste trabalho, assim como ao Centro Europeu pela disponibilização das análises, ao CNRM/Meteo-France pelo Meso-NH e o IPMA pela concessão dos dados.

## 8. BIBLIOGRAFIA

Abatzoglou, J.T., Kolden, C.A., Balch, J.K., Bradley, B.A., 2016. Controls on interannual variability in lightning-caused fire activity in the western US. *Environmental Research Letters*. 11, 045005. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/11/4/045005>.

Augros, C., Caumont, O., Ducrocq, V., Gaussiat, N., Tabary, P., 2016. Comparisons between S, C, and X band polarimetric radar observations and convective-scale simulations of HyMeX first special observing period. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*. 142, 347-362. <https://doi.org/10.1002/qj.2572>.

Barbero, R., Abatzoglou, J.T., Steel, E.A., Larkin, N.K., 2014. Modeling very large-fire occurrences over the continental United States from weather and climate forcing. *Environmental Research Letters*. 9, 124009. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/9/12/124009>.

Barthe, C., Molinié, G., Pinty, J.-P., 2005. Description and first results of an explicit electrical scheme in a 3D cloud resolving model. *Atmospheric Research*. 76, 95-113. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2004.11.021>.

Barthe, C., Chong, M., Pinty, J.-P., Bovalo, C., Escobar, J., 2012. CELLS v1.0: updated and parallelized version of an electrical scheme to simulate multiple electrified clouds and flashes over large domains. *Geoscientific Model Development*. 5, 167-184. <https://doi.org/10.5194/gmd-5-167-2012>.

Bovalo, C., Barthe, C., Pinty, J.-P., 2019. Examining relationships between cloud-resolving model parameters and total flash rates to generate lightning density maps. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*. 145, 1250-1266. <https://doi.org/10.1002/qj.3494>.

Caumont, O., Ducrocq, V., Delrieu, G., Gosset, M., Pinty, J.-P., Parent du Châtelet, J., Andrieu, H., Lemaître, Y., Scialom, G., 2006. A radar simulator for high-resolution nonhydrostatic models. *Journal of atmospheric and oceanic technology*. 23, 1049-1067. <https://doi.org/10.1175/JTECH1905.1>.

Clark, T.L., and R.D. Farley, 1984. Severe downslope windstorm calculations in two and three spatial dimensions using anelastic interactive grid nesting: a possible mechanism for gustiness. *J. Atmos. Sci.*, 41, 329-350.

CTI report, 2017. Relatório: Análise e apuramento dos factos relativos aos incêndios que ocorreram em Pedrógão Grande, Castanheira de Pera, Ansião, Alvaiázere, Figueiró dos Vinhos, Arganil, Góis, Penela, Pampilhosa da Serra, Oleiros e Sertã, entre 17 e 24 de junho de 2017. Comissão Técnica Independente (CTI). Assembleia da República.

Dennison, P.E., Brewer, S.C., Arnold, J.D., Moritz, M.A., 2014. Large wildfire trends in the western United States, 1984–2011. *Geophysical Research Letters*. 41, 2928–2933. <https://doi.org/10.1002/2014GL059576>.

Dowdy, A.J., Mills, G.A., 2012a. Atmospheric and fuel moisture characteristics associated with lightning-attributed fires. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*. 51, 2025-2037. <https://doi.org/10.1175/JAMC-D-11-0219.1>.

Dowdy, A.J., Mills, G.A., 2012b. Characteristics of lightning-attributed wildland fires in south-east Australia. *International Journal of Wildland Fire*. 21, 521-524. <https://doi.org/10.1071/WF10145>.

Durrant D. R., 1989: Improving the anelastic approximation, *J. Atmos. Sci.*, 46, 1453–1461.

Filippi, J.-B., Bosseur, F., Mari, C., Lac, C., Le Moigne, P., Cuenot, B., Veynante, D., Cariolle, D., Balbi, J.H., 2009. Coupled atmosphere-wildland fire modelling. *Journal of Advances in Modeling Earth Systems*. 1, 11. <https://doi.org/10.3894/JAMES.2009.1.11>.

Filippi, J.-B., Bosseur, F., Pialat, X., Santoni, P.-A., Strada, S., Mari, C., 2011. Simulation of coupled fire/atmosphere interaction with the MesoNH-ForeFire models. *Journal of Combustion*. 540390. <http://dx.doi.org/10.1155/2011/540390>.

Filippi, J.-B., Pialat, X., Clements, C.B., 2013. Assessment of ForeFire/Meso-NH for wildland fire/atmosphere coupled simulation of the FireFlux experiment. *Proc. Combustion Inst.* 34, 2633-2640. <https://doi.org/10.1016/j.proci.2012.07.022>.

Gal-Chen, T., and R.C.J. Somerville, 1975. On the Use of a Coordinate Transformation for the Solution of the Navier-Stokes Equations. *J. Comput. Phys.*, 17, 209-228.

Ganteaume, A., Syphard, A.D., 2018. Ignition Sources In: Manzello S. (eds) *Encyclopedia of Wildfires and Wildland-Urban Interface (WUI) Fires*. Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-51727-8\\_43-1](https://doi.org/10.1007/978-3-319-51727-8_43-1).

IPMA report, 2017. Relatório: Condições meteorológicas associadas ao incêndio de Pedrógão Grande de 17 Junho 2017. Instituto Português do Mar e Atmosfera, I.P., Departamento de Meteorologia e Geofísica, Lisboa, Portugal.

Lac, C., and Co-authors, 2018. Overview of the Meso-NH model version 5.4 and its applications. *Geoscientific Model Development*. 11, 1929-1969. <https://doi.org/10.5194/gmd-11-1929-2018>.

Lafore, J.-P., and Co-authors, 1998. The Meso-NH Atmospheric Simulation System. Part I: adiabatic formulation and control simulations. *Annales Geophysicae*. 16, 90-109. <https://doi.org/10.1007/s00585-997-0090-6>.

Lipps, F., and R.S. Hemler, 1982. A scale analysis of deep moist convection and some related numerical calculations. *J. Atmos. Sci.*, 39, 2192-2210.

Mesinger, F., and A. Arakawa, 1976: Numerical methods used in atmospheric models. GARP Publications Series No. 17, WMO/ICSU Joint Organizing Committee, 64 pp.

Nunes, A., Lourenço, L., Fernandes, S., Castro, A.C.M., 2014. Principais causas dos incêndios florestais em Portugal: variação espacial no período 2001/12. *Territorium*. 21, 135-146.

Pinty, J.-P., Jabouille, P., 1998. A mixed-phase cloud parameterization for use in mesoscale non-hydrostatic model: simulations of a squall line and of orographic precipitation. *Proc. Conf. of Cloud Physics*, Everett, WA, USA, Amer. Meteor. soc., Aug. 1999, 217-220.

Pinty, J.-P., Barthe, C., Defer, E., Richard, E., Chong, M., 2013. Explicit simulation of electrified clouds: from idealized to real case studies. *Atmospheric Research*. 123, 82-92. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2012.04.008>.

Pugnet, L., Lourenço, L., Rocha, J., 2010. L'ignition des feux de forêt par l'action de la foudre au Portugal de 1996 à 2008. *Territorium: Revista Portuguesa de riscos, prevenção e segurança* 17, 57-70. [http://dx.doi.org/10.14195/1647-7723\\_17\\_6](http://dx.doi.org/10.14195/1647-7723_17_6).

Richard, E., Cosma, S., Tabary, P., Pinty, J.-P., Hagen, M., 2003. High-resolution numerical simulations of the convective system observed in the Lago Maggiore area on 17 September 1999 (MAP IOP 2a). *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*. 129, 543-563. <https://doi.org/10.1256/qj.02.50>.

Saunders, C.P.R., Keith, W.D., Mitzewa, R.P., 1991. The effect of liquid water on thunderstorm charging. *Journal Geophysical Research*. 96, 11007-11017. <https://doi.org/10.1029/91JD00970>.

Stephens, S.L., 2005. Forest fire causes and extent on United States forest service lands. *International Journal of Wildland Fire*. 14, 213-222. <https://doi.org/10.1071/WF04006>.

Singleton, M.P., Thode, A.E., Sánchez Meador, A.J., Iniguez, J.M., 2019. Increasing trends in high-severity fire in the southwestern USA from 1984 to 2015. *Forest Ecology and Management*. 433, 709-719. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2018.11.039>.

Trigo, R.M., García-Herrera, R., Díaz, J., Trigo, I.F., Valente M.A., 2005. How exceptional was the early August 2003 heatwave in France? *Geophysical Research Letters*. 32, L10701. <https://doi.org/10.1029/2005GL022410>.

Trigo, R.M., Pereira, J.M.C., Pereira, M.G., Mota, B., Calado, T.J., DaCamara, C.C., Santo, F.E., 2006. Atmospheric conditions associated with the exceptional fire season of 2003 in Portugal. *International Journal of Climatology*. 26, 1741-1757. <https://doi.org/10.1002/joc.1333>.

Trigo, R.M., Sousa, P.M., Pereira, M.G., Rasilla, D., Gouveia, C.M., 2016. Modelling wildfire activity in Iberia with different atmospheric circulation weather types. *International Journal of Climatology*. 36, 2761-2778. <https://doi.org/10.1002/joc.3749>.

Vazquez, A., Moreno, J.M., 1998. Patterns of lightning-, and people-caused fires in Peninsular Spain. *International Journal of Wildland Fire*. 8, 103-115. <https://doi.org/10.1071/WF9980103>.

Wilhelmson, R., and Y. Ogura, 1972. The pressure perturbation and the numerical modelling of a cloud, *J. Atmos. Sci.*, 29, 1295-1307.

## **ANEXOS**

## ANEXO A

### Namelists Meso-NH

**Namelist 1:** namelist para informação fisiográfica do domínio com resolução espacial de 4 km.

#### PRE\_PGD1.nam\_4km

```
&NAM_PGDFILE CPGDFILE="Pedrogao_4km" /
&NAM_PGD_SCHEMES CNATURE='ISBA',
                      CSEA='SEAFIX',
                      CTOWN='TEB',
                      CWATER='WATFLX' /
&NAM_CONF_PROJ XLAT0=39.9,
                XLON0=-8.2,
                XRPK=0.7241894422,
                XBETA=0 /
&NAM_CONF_PROJ_GRID XLATCEN=39.9,
                    XLONCEN=-8.2,
                    NIMAX=192,
                    NJMAX=192,
                    XDX=4000.,
                    XDY=4000. /
&NAM_COVER   YCOVER='ECOCLIMAP_v2.0', YFILETYPE='DIRECT' /
&NAM_ZS      YZS='srtm_ne_250', YFILETYPE='DIRECT' /
&NAM_ISBA   YCLAY='CLAY_HWSD_MOY', YCLAYFILETYPE='DIRECT',
            YSAND='SAND_HWSD_MOY', YSANDFILETYPE='DIRECT' /
&NAM_PGD_SCHEMES CWATER="FLAKE" /
&NAM_DATA_FLAKE XUNIF_WATER_DEPTH=27.,
                XUNIF_WATER_FETCH=1000.,
                XUNIF_T_BS=287.55,
                XUNIF_DEPTH_BS=1.,
                XUNIF_EXTCOEFF_WATER=0.85 /
```

**Namelist 2:** namelist para informação fisiográfica do domínio com resolução espacial de 1 km.

#### PRE\_PGD1.nam\_1km

```
&NAM_PGDFILE CPGDFILE="Pedrogao_1km" /
&NAM_PGD_SCHEMES CNATURE='ISBA ',
                      CSEA='SEAFIX',
                      CTOWN='TEB ',
                      CWATER='WATFLX' /
&NAM_PGD_GRID YINIFILE='Pedrogao_4km', YFILETYPE='MESONH'/
&NAM_INIFILE_CONF_PROJ IXOR=48,
                        IYOR=48,
                        IXSIZE=96,
                        IYSIZE=96,
                        IDXRatio=4,
                        IDYRatio=4 /
&NAM_COVER   YCOVER='ECOCLIMAP_v2.0', YFILETYPE='DIRECT' /
&NAM_ZS      YZS='srtm_ne_250', YFILETYPE='DIRECT' /
&NAM_INIFILE_CONF_PROJ /
&NAM_ISBA   YCLAY='CLAY_HWSD_MOY', YCLAYFILETYPE='DIRECT',
            YSAND='SAND_HWSD_MOY', YSANDFILETYPE='DIRECT' /
&NAM_PGD_SCHEMES CWATER="FLAKE" /
&NAM_DATA_FLAKE XUNIF_WATER_DEPTH=27.,
                XUNIF_WATER_FETCH=1000.,
                XUNIF_T_BS=287.55,
                XUNIF_DEPTH_BS=1.,
                XUNIF_EXTCOEFF_WATER=0.85 /
```

**Namelist 3:** namelist para aninhamento de grelha (PGD\_NEST).

### PRE\_NEST\_PGD1.nam

```
&NAM_PGD1 YPGD1 = 'Pedrogao_4km' /
&NAM_PGD2 YPGD2 = 'Pedrogao_1km', IDAD = 1 /
&NAM_NEST_PGD YNEST = 'gn' /
```

**Namelist 4:** namelist para a etapa real com referência a última análise utilizada no experimento.

### PRE\_REAL1.nam

```
&NAM_FILE_NAMES HATMFILE ='ecmwf.OD.20170618.00',
                 HATMFILETYPE='GRIBEX',
                 HPGDFILE ='Pedrogao_4km.nestgn' ,
                 CINIFILE='20170618.00.rl'/
&NAM_REAL_CONF  NVERB=5, CEQNSYS='DUR' /
&NAM_VER_GRID  LTHINSHELL=T,
                 NKMAX=50,
                 YZGRID_TYPE='FUNCTN',
                 ZDZGRD=30.,
                 ZDZTOP=900.,
                 ZZMAX_STRGRD=2000.,
                 ZSTRGRD=10.,
                 ZSTRTOP=6.7 /
```

**Namelist 5:** namelist para a tarefa spawning.

### SPAWN1.nam

```
&NAM_LUNIT2_SPA CINIFILE = '20170617.06.rl',
                 YDOMAIN = 'Pedrogao_1km.nestgn',
                 YSPANBR = '02' /
&NAM_SPAWN_SURF LSPAWN_SURF=T /
```

**Namelist 6:** namelist para a etapa real para 1km.

### PRE\_REAL1.nam

```
&NAM_FILE_NAMES HATMFILE ='20170617.06.rl.spa02',
                 HATMFILETYPE='MESONH',
                 HPGDFILE ='Pedrogao_1km.nestgn',
                 CINIFILE='20170617.06.rs'/
&NAM_REAL_CONF  NVERB=5 /
&NAM_VER_GRID /
&NAM_PREP_SURF_ATM CFILE = '20170617.06.rl', CFILETYPE = 'MESONH' /
```

**Namelist 7:** namelist EXSEG1.nam para o domínio com resolução de 4 km e primeira experiência (esquema elétrico não ativado).

### EXSEG1.nam\_noELEC

```

&NAM_LUNITn CINIFILE = "20170617.06.rl" ,
    CCPLFILE(1) = "20170617.12.rl" ,
    CCPLFILE(2) = "20170617.18.rl" ,
    CCPLFILE(3) = "20170618.00.rl" /
&NAM_DYNn XTSTEP=8.0, NITR = 8, CPRESOPT="ZRESI", XRELAX=1.0, LVE_RELAX = .TRUE.,
    LHORELAX_UVWTH=.TRUE., LHORELAX_RV=.TRUE., LHORELAX_RC=.FALSE.,
    LHORELAX_RR=.FALSE., LHORELAX_RS=.FALSE., LHORELAX_RI=.FALSE.,
    LHORELAX_RG=.FALSE., LHORELAX_SV=.FALSE.,
    NRIMX = 10, NRIMY = 10, XRIMKMAX = .01, XT4DIFU=800. /
&NAM_ADVn CUVW_ADV_SCHEME="CEN4TH",
    CMET_ADV_SCHEME="PPM_01" /
&NAM_PARAMn CTURB = "TKEL",
    CRAD = "ECMW",
    CELEC = "NONE",
    CCLOUD = "ICE3",
    CDCONV = "KAFR",
    CSCONV = "EDKF" /
&NAM_PARAM_RADn XDTRAD = 900., XDTRAD_CLONLY = 450., LCLEAR_SKY=.FALSE. /
&NAM_LBCn CLBCX = 2*"OPEN", CLBCY = 2*"OPEN", XCPHASE = 5. /
&NAM_TURBn CTURBDIM="1DIM", CTURBLEN="BL89", LSUBG_COND=.F., XIMPL=1.,
    LTURB_DIAG=.FALSE., LTURB_FLX=.FALSE.,
    LSIGMAS=.T., LSIG_CONV = .F., CSUBG_AUCV='CLFR' /
&NAM_PARAM_KAFRn XDTCONV=300., NICE=1, LREFRESH_ALL=.TRUE.,
    LDOWN=.TRUE., LSETTADJ=.TRUE., XTADJD=1800.,
    XTADJS=3600., LDIAGCONV=.FALSE., NENSM=3 /
&NAM_PARAM_MFSHALLn XIMPL_MF=1, CMF_UPDRAFT='EDKF', CMF_CLOUD='DIRE',
    LMIXUV=.TRUE., LMF_FLX=.FALSE. /
&NAM_CONF CCONF = "START", LFLAT = F,
    CEQNSYS = "DUR", CSPLIT = 'BSPLITTING',
    NMODEL = 2, NVERB = 2,
    CEXP = "P0617",
    CSEG = "SEG01" /
&NAM_CONFZ MPI_BUFFER_SIZE = 200 /
&NAM_DYN XSEGLN = 50400., XASSELIN = 0.2, LCORIO = T, LNUMDIFU = T, LNUMDIFTH = F ,
    XALKTOP = 0.01, XALZBOT = 10000. , LZDIFU = T /
&NAM_NESTING NDAD(2) = 1, NDTRATIO(2) = 4, XWAY(2) = 1. /
&NAM_ELEC LOCG = F, LFW_HELFA = F, LCOSMIC_APPROX = F, LRELAX2FW_ION = T,
    LINDUCTIVE = T, LELEC_FIELD = T, LFLASH_GEOM = T, LLNOX_EXPLICIT = F,
    LSAVE_COORD = F, LSERIES_ELEC = F, NFLASH_WRITE = 100,
    CNI_CHARGING = "SAUN2", LSEDIM_BEARD = F, LIAGGS_LATHAM = F,
    LLMA = F, CLSOL = "ZRESI", NLAPITR_ELEC = 6, XLIM_NI_IS = 10.E-15,
    XLIM_NI_IG = 30.E-15, XLIM_NI_SG = 100.E-15, XRELAX_ELEC = 1.,
    XETRIG = 200.E3, XEBALANCE = 0.1, XEPROP = 15.E3, XQEXCES = 2.0E-10,
    XQNEUT = 1.0E-10, XDFRAC_ECLAIR = 2.3, XDFRAC_L = 1500. /
&NAM_FMOUT XFMOUT(1,01)=021600., XFMOUT(1,02)=023400., XFMOUT(1,03)=025200.,
    XFMOUT(1,04)=027000., XFMOUT(1,05)=028800., XFMOUT(1,06)=030600.,
    XFMOUT(1,07)=032400., XFMOUT(1,08)=034200., XFMOUT(1,09)=036000.,
    XFMOUT(1,10)=037800., XFMOUT(1,11)=039600., XFMOUT(1,12)=041400.,
    XFMOUT(1,13)=043200., XFMOUT(1,14)=045000., XFMOUT(1,15)=046800.,
    XFMOUT(1,16)=048600., XFMOUT(1,17)=050400./
&NAM_ISBAn
    CSCOND = "NP89", CALBEDO = "DRY", CC1DRY = 'DEF', CSOILFRZ = 'DEF',
    CDIFSFCOND = 'DEF', CSNOWRES = 'DEF', CROUGH = 'Z01D' /

```

**Namelist 8:** namelist EXSEG2.nam para o domínio com resolução de 1 km e primeira experiência (esquema elétrico não ativado).

### EXSEG2.nam\_noELEC

```
&NAM_LUNITn CINIFILE = "20170617.06.rs" /
&NAM_DYNn NITR = 8,
    CPRESOPT="ZRESI",
    XRELAX=1.0,
    LVE_RELAX = .TRUE.,
    LHORELAX_UVWTH=.FALSE.,
    LHORELAX_RV=.FALSE.,
    LHORELAX_RC=.FALSE.,
    LHORELAX_RR=.FALSE.,
    LHORELAX_RS=.FALSE.,
    LHORELAX_RI=.FALSE.,
    LHORELAX_RG=.FALSE.,
    LHORELAX_SV=.FALSE.,
    NRIMX = 10,
    NRIMY = 10,
    XRIMKMAX = .0025,
    XT4DIFU=200. /
&NAM_ADVn CUVW_ADV_SCHEME="CEN4TH",
    CMET_ADV_SCHEME="PPM_01" /
&NAM_PARAMn CTURB = "TKEL",
    CRAD = "ECMW",
    CELEC = "NONE",
    CLOUD = "ICE3",
    CDCONV = "NONE",
    CSCONV = "NONE" /
&NAM_PARAM_RADn XDTRAD = 900., XDTRAD_CLONLY = 450., LCLEAR_SKY=.FALSE. /
&NAM_LBCn CLBCX = 2*"OPEN", CLBCY = 2*"OPEN", XCPHASE = 5. /
&NAM_TURBn CTURBDIM="3DIM", CTURBLEN="DELT", LSUBG_COND=.F., XIMPL=1.,
    LTURB_DIAG=.FALSE., LTURB_FLX=.FALSE., LSIGMAS=.T.,
    LSIG_CONV = .F., CSUBG_AUCV='CLFR' /
&NAM_FMOUOut XFMOUT(2,01)=021600., XFMOUT(2,02)=023400.,
    XFMOUT(2,03)=025200., XFMOUT(2,04)=027000.,
    XFMOUT(2,05)=028800., XFMOUT(2,06)=030600.,
    XFMOUT(2,07)=032400., XFMOUT(2,08)=034200.,
    XFMOUT(2,09)=036000., XFMOUT(2,10)=037800.,
    XFMOUT(2,11)=039600., XFMOUT(2,12)=041400.,
    XFMOUT(2,13)=043200., XFMOUT(2,14)=045000.,
    XFMOUT(2,15)=046800., XFMOUT(2,16)=048600.,
    XFMOUT(2,17)=050400./
&NAM_ISBAn CSCOND = "NP89",
    CALBEDO = "DRY",
    CC1DRY = 'DEF',
    CSOILFRZ = 'DEF',
    CDIFSFCOND = 'DEF',
    CSNOWRES = 'DEF',
    CROUGH = 'Z01D' /
```

**Namelist 9:** namelist EXSEG1.nam para o domínio com resolução de 4 km e segunda experiência (esquema elétrico ativado).

### EXSEG1.nam\_ELEC

```

&NAM_LUNITn CINIFILE = "P0617.1.SEG01.005" ,
      CCPLFILE(1) = "20170617.12.rl" ,
      CCPLFILE(2) = "20170617.18.rl" ,
      CCPLFILE(3) = "20170618.00.rl" /
&NAM_DYNn XTSTEP=8.0, NITR = 8, CPRESOPT="ZRESI", XRELAX=1.0, LVE_RELAX = .TRUE.,
      LHORELAX_UVWTH=.TRUE., LHORELAX_RV=.TRUE., LHORELAX_RC=.FALSE.,
      LHORELAX_RR=.FALSE., LHORELAX_RS=.FALSE., LHORELAX_RI=.FALSE.,
      LHORELAX_RG=.FALSE., LHORELAX_SV=.FALSE., NRIMX = 10, NRIMY = 10,
      XRIMKMAX = .01, XT4DIFU=800. /
&NAM_ADVn CUVW_ADV_SCHEME="CEN4TH", CMET_ADV_SCHEME="PPM_01" /
&NAM_PARAMn CTURB = "TKEL", CRAD = "ECMW", CELEC = "NONE",
      CLOUD = "ICE3", CDCONV = "KAFR", CSCONV = "EDKF" /
&NAM_PARAM_RADn XDTRAD = 900., XDTRAD_CLONLY = 450., LCLEAR_SKY=.FALSE. /
&NAM_LBCn CLBCX = 2*"OPEN", CLBCY = 2*"OPEN", XCPHASE = 5. /
&NAM_TURBn CTURBDIM="1DIM", CTURBLEN="BL89", LSUBG_COND=.F., XIMPL=1.,
      LTURB_DIAG=.FALSE., LTURB_FLX=.FALSE., LSIGMAS=.T.,
      LSIG_CONV = .F., CSUBG_AUCV='CLFR' /
&NAM_PARAM_KAFRn XDTCONV=300., NICE=1, LREFRESH_ALL=.TRUE.,
      LDOWN=.TRUE., LSETTADJ=.TRUE., XTADJD=1800.,
      XTADJS=3600., LDIAGCONV=.FALSE., NENSM=3 /
&NAM_PARAM_MFSHALLn XIMPL_MF=1, CMF_UPDRAFT='EDKF', CMF_CLOUD='DIRE',
      LMIXUV=.TRUE., LMF_FLX=.FALSE. /
&NAM_CONF CCONF = "RESTA", LFLAT = F, CEQNSYS = "DUR", CSPLIT = 'BSPLITTING',
      NMODEL = 2, NVERB = 2, CEXP = "P0617", CSEG = "ELE01" /
&NAM_CONFZ MPI_BUFFER_SIZE = 200 /
&NAM_DYN XSEGLN = 21600., XASSELIN = 0.2, LCORIO = T, LNUMDIFU = T, LNUMDIFTH= F ,
      XALKTOP = 0.01, XALZBOT = 10000. , LZDIFFU = T /
&NAM_NESTING NDAD(2) = 1, NDTRATIO(2) = 4, XWAY(2) = 1. /
&NAM_ELEC LOCG = F, LFW_HELFA = F, LCOSMIC_APPROX = F, LRELAX2FW_ION = T,
      LINDUCTIVE = T, LELEC_FIELD = T, LFLASH_GEOM = T, LLNOX_EXPLICIT = F,
      LSAVE_COORD = F, LSERIES_ELEC = F, NFLASH_WRITE = 100,
      CNI_CHARGING = "SAUN2", LSEDIM_BEARD = F, LIAGGS_LATHAM = F,
      LLMA= F, CLSOL = "ZRESI", NLAPITR_ELEC = 6, XLIM_NI_IS = 10.E-15,
      XLIM_NI_IG = 30.E-15, XLIM_NI_SG = 100.E-15, XRELAX_ELEC = 1.,
      XETRIG = 200.E3, XEBALANCE = 0.1, XEPROP = 15.E3, XQEXCES = 2.0E-10,
      XQNEUT = 1.0E-10, XDFRAC_ECLAIR = 2.3, XDFRAC_L = 1500. /
&NAM_FMOU n XFMOUT(1,01)=000900., XFMOUT(1,02)=001800., XFMOUT(1,03)=002700.,
      XFMOUT(1,04)=003600., XFMOUT(1,05)=004500., XFMOUT(1,06)=005400.,
      XFMOUT(1,07)=006300., XFMOUT(1,08)=007200., XFMOUT(1,09)=008100.,
      XFMOUT(1,10)=009000., XFMOUT(1,11)=009900., XFMOUT(1,12)=010800.,
      XFMOUT(1,13)=011700., XFMOUT(1,14)=012600., XFMOUT(1,15)=013500.,
      XFMOUT(1,16)=014400., XFMOUT(1,17)=015300., XFMOUT(1,18)=016200.,
      XFMOUT(1,19)=017100., XFMOUT(1,20)=018000., XFMOUT(1,21)=018900.,
      XFMOUT(1,22)=019800., XFMOUT(1,23)=020700., XFMOUT(1,24)=021600./
&NAM_ISBAn
      CSCOND = "NP89", CALBEDO = "DRY", CC1DRY = 'DEF', CSOILFRZ = 'DEF',
      CDIFSFCOND = 'DEF', CSNOWRES = 'DEF', CROUGH = 'Z01D' /

```

**Namelist 10:** namelist EXSEG2.nam para o domínio com resolução de 1 km e segunda experiência (esquema elétrico ativado).

### EXSEG2.nam\_ELEC

```
&NAM_LUNITn CINIFILE = "P0617.2.SEG01.005" /
&NAM_DYNn NITR = 8,
    CPRESOPT="ZRESI",
    XRELAX=1.0,
    LVE_RELAX = .TRUE.,
    LHORELAX_UVWTH=.FALSE.,
    LHORELAX_RV=.FALSE.,
    LHORELAX_RC=.FALSE.,
    LHORELAX_RR=.FALSE.,
    LHORELAX_RS=.FALSE.,
    LHORELAX_RI=.FALSE.,
    LHORELAX_RG=.FALSE.,
    LHORELAX_SV=.FALSE.,
    NRIMX = 10,
    NRIMY = 10,
    XRMKMAX = .0025,
    XT4DIFU=200. /
&NAM_ADVn CUVW_ADV_SCHEME="CEN4TH", CMET_ADV_SCHEME="PPM_01" /
&NAM_PARAMn CTURB = "TKEL", CRAD = "ECMW", CELEC = "ELE3",
    CLOUD = "ICE3", CDCONV = "NONE", CSCONV = "NONE" /
&NAM_PARAMn RADn XDTRAD = 900., XDTRAD_CLONLY = 450., LCLEAR_SKY=.FALSE. /
&NAM_LBCn CLBCX = 2*"OPEN", CLBCY = 2*"OPEN", XCPHASE = 5. /
&NAM_TURBn CTURBDIM="3DIM", CTURBLEN="DELT", LSUBG_COND=.F., XIMPL=1.,
    LTURB_DIAG=.FALSE., LTURB_FLX=.FALSE., LSIGMAS=.T.,
    LSIG_CONV = .F., CSUBG_AUCV='CLFR' /
&NAM_FMOU XFMOUT(2,01)=000900., XFMOUT(2,02)=001800.,
    XFMOUT(2,03)=002700., XFMOUT(2,04)=003600.,
    XFMOUT(2,05)=004500., XFMOUT(2,06)=005400.,
    XFMOUT(2,07)=006300., XFMOUT(2,08)=007200.,
    XFMOUT(2,09)=008100., XFMOUT(2,10)=009000.,
    XFMOUT(2,11)=009900., XFMOUT(2,12)=010800.,
    XFMOUT(2,13)=011700., XFMOUT(2,14)=012600.,
    XFMOUT(2,15)=013500., XFMOUT(2,16)=014400.,
    XFMOUT(2,17)=015300., XFMOUT(2,18)=016200.,
    XFMOUT(2,19)=017100., XFMOUT(2,20)=018000.,
    XFMOUT(2,21)=018900., XFMOUT(2,22)=019800.,
    XFMOUT(2,23)=020700., XFMOUT(2,24)=021600./
&NAM_ISBAn CSCOND = "NP89", CALBEDO = "DRY", CC1DRY = 'DEF', CSOILFRZ = 'DEF',
    CDIFSFCND = 'DEF', CSNOWRES = 'DEF', CROUGH = 'Z01D' /
```

## Namelist 11: Exemplos de namelist DIAG1.nam.

../dg4km/cell	../dg4km/ctrl
<pre>&amp;NAM_DIAG CISO = 'PREVTK', LVAR_RS = T, LTPZH = T, LMOIST_V = T, LMOIST_E = T, LDIV = T, LMSLP = T, LTHW = T, LVAR_MRW = T, LTOTAL_PR = T, LCLD_COV = T, NCONV_KF = 0, LRADAR = T /  &amp;NAM_DIAG_SURF<sub>n</sub> N2M=2 /  &amp;NAM_DIAG_BLANK / &amp;NAM_DIAG_FILE YSUFFIX="ce4t", YINIFILE(1) = "P0617.1.ELE01.024" /</pre>	<pre>&amp;NAM_DIAG CISO = 'PREVTK', LVAR_RS = T, LTPZH = T, LMOIST_V = T, LMOIST_E = T, LDIV = T, LMSLP = T, LTHW = T, LVAR_MRW = T, LTOTAL_PR = T, LCLD_COV = T, NCONV_KF = 0, LRADAR = T /  &amp;NAM_DIAG_SURF<sub>n</sub> N2M=2 /  &amp;NAM_DIAG_BLANK / &amp;NAM_DIAG_FILE YSUFFIX="ct4k", YINIFILE(1) = "P0617.1.SEG01.017" /</pre>
../dg1km/cell	../dg1km/ctrl
<pre>&amp;NAM_DIAG CISO = 'PREVTK', LVAR_RS = T, LTPZH = T, LMOIST_V = T, LMOIST_E = T, LDIV = T, LMSLP = T, LTHW = T, LVAR_MRW = T, LTOTAL_PR = T, LCLD_COV = T, NCONV_KF = 0, LRADAR = T /  &amp;NAM_DIAG_SURF<sub>n</sub> N2M=2 /  &amp;NAM_DIAG_BLANK / &amp;NAM_DIAG_FILE YSUFFIX="ce1k", YINIFILE(1) = "P0617.2.ELE01.024" /</pre>	<pre>&amp;NAM_DIAG CISO = 'PREVTK', LVAR_RS = T, LTPZH = T, LMOIST_V = T, LMOIST_E = T, LDIV = T, LMSLP = T, LTHW = T, LVAR_MRW = T, LTOTAL_PR = T, LCLD_COV = T, NCONV_KF = 0, LRADAR = T /  &amp;NAM_DIAG_SURF<sub>n</sub> N2M=2 /  &amp;NAM_DIAG_BLANK / &amp;NAM_DIAG_FILE YSUFFIX="ct1k", YINIFILE(1) = "P0617.2.SEG01.017" /</pre>

## ANEXO B

### Ficheiros de saídas do Meso-NH (Organização no supercomputador do ICT)

**Tabela 1:** Ficheiros do Meso-NH para cada experiência numérica.

1ª Experiência			2ª Experiência			Variáveis elétricas
EXP 4km	EXP 1km	Hora	CELL 4km	CELL 1km	Hora	nodg <sup>1</sup>
P0617.1.SEG01.	P0617.2.SEG01.		P0617.1.ELE01.	P0617.2.ELE01.		P0617.2.ELE01.
<b>001</b>	<b>001</b>	12:00	<b>001</b>	<b>001</b>	14:15	<b>001ndg</b>
<b>002</b>	<b>002</b>	12:30	<b>002</b>	<b>002</b>	14:30	<b>002ndg</b>
<b>003</b>	<b>003</b>	13:00	<b>003</b>	<b>003</b>	14:45	<b>003ndg</b>
<b>004</b>	<b>004</b>	13:30	<b>004</b>	<b>004</b>	15:00	<b>004ndg</b>
<b>005</b>	<b>005</b>	14:00	<b>005</b>	<b>005</b>	15:15	<b>005ndg</b>
<b>006</b>	<b>006</b>	14:30	<b>006</b>	<b>006</b>	15:30	<b>006ndg</b>
<b>007</b>	<b>007</b>	15:00	<b>007</b>	<b>007</b>	15:45	<b>007ndg</b>
<b>008</b>	<b>008</b>	15:30	<b>008</b>	<b>008</b>	16:00	<b>008ndg</b>
<b>009</b>	<b>009</b>	16:00	<b>009</b>	<b>009</b>	16:15	<b>009ndg</b>
<b>010</b>	<b>010</b>	16:30	<b>010</b>	<b>010</b>	16:30	<b>010ndg</b>
<b>011</b>	<b>011</b>	17:00	<b>011</b>	<b>011</b>	16:45	<b>011ndg</b>
<b>012</b>	<b>012</b>	17:30	<b>012</b>	<b>012</b>	17:00	<b>012ndg</b>
<b>013</b>	<b>013</b>	18:00	<b>013</b>	<b>013</b>	17:15	<b>013ndg</b>
<b>014</b>	<b>014</b>	18:30	<b>014</b>	<b>014</b>	17:30	<b>014ndg</b>
<b>015</b>	<b>015</b>	19:00	<b>015</b>	<b>015</b>	17:45	<b>015ndg</b>
<b>016</b>	<b>016</b>	19:30	<b>016</b>	<b>016</b>	18:00	<b>016ndg</b>
<b>017</b>	<b>017</b>	20:00	<b>017</b>	<b>017</b>	18:15	<b>017ndg</b>
			<b>018</b>	<b>018</b>	18:30	<b>018ndg</b>
			<b>019</b>	<b>019</b>	18:45	<b>019ndg</b>
			<b>020</b>	<b>020</b>	19:00	<b>020ndg</b>
			<b>021</b>	<b>021</b>	19:15	<b>021ndg</b>
			<b>022</b>	<b>022</b>	19:30	<b>022ndg</b>
			<b>023</b>	<b>023</b>	19:45	<b>023ndg</b>
			<b>024</b>	<b>024</b>	20:00	<b>024ndg</b>

<sup>1</sup> - diretoria contendo os ficheiros obtidos a partir do 'mnhrun' com o conv2dia.

**Tabela 2:** Ficheiros do Meso-NH após execução do programa DIAG.

1ª Experiência			2ª Experiência		
dg4km/ CTRL [4km]	dg1km/ CTRL [1km]	Hora	dg4km/ CELL [4km]	dg1km/ CELL [1km]	Hora
<i>P0617.1.SEG01.</i>	<i>P0617.2.SEG01.</i>		<i>P0617.1.ELE01.</i>	<i>P0617.2.ELE01.</i>	
<b>001ct4k</b>	<b>001ct1k</b>	12:00	<b>001ce4k</b>	<b>001ce1k</b>	14:15
<b>002ct4k</b>	<b>002ct1k</b>	12:30	<b>002ce4k</b>	<b>002ce1k</b>	14:30
<b>003ct4k</b>	<b>003ct1k</b>	13:00	<b>003ce4k</b>	<b>003ce1k</b>	14:45
<b>004ct4k</b>	<b>004ct1k</b>	13:30	<b>004ce4k</b>	<b>004ce1k</b>	15:00
<b>005ct4k</b>	<b>005ct1k</b>	14:00	<b>005ce4k</b>	<b>005ce1k</b>	15:15
<b>006ct4k</b>	<b>006ct1k</b>	14:30	<b>006ce4k</b>	<b>006ce1k</b>	15:30
<b>007ct4k</b>	<b>007ct1k</b>	15:00	<b>007ce4k</b>	<b>007ce1k</b>	15:45
<b>008ct4k</b>	<b>008ct1k</b>	15:30	<b>008ce4k</b>	<b>008ce1k</b>	16:00
<b>009ct4k</b>	<b>009ct1k</b>	16:00	<b>009ce4k</b>	<b>009ce1k</b>	16:15
<b>010ct4k</b>	<b>010ct1k</b>	16:30	<b>010ce4k</b>	<b>010ce1k</b>	16:30
<b>011ct4k</b>	<b>011ct1k</b>	17:00	<b>011ce4k</b>	<b>011ce1k</b>	16:45
<b>012ct4k</b>	<b>012ct1k</b>	17:30	<b>012ce4k</b>	<b>012ce1k</b>	17:00
<b>013ct4k</b>	<b>013ct1k</b>	18:00	<b>013ce4k</b>	<b>013ce1k</b>	17:15
<b>014ct4k</b>	<b>014ct1k</b>	18:30	<b>014ce4k</b>	<b>014ce1k</b>	17:30
<b>015ct4k</b>	<b>015ct1k</b>	19:00	<b>015ce4k</b>	<b>015ce1k</b>	17:45
<b>016ct4k</b>	<b>016ct1k</b>	19:30	<b>016ce4k</b>	<b>016ce1k</b>	18:00
<b>017ct4k</b>	<b>017ct1k</b>	20:00	<b>017ce4k</b>	<b>017ce1k</b>	18:15
			<b>018ce4k</b>	<b>018ce1k</b>	18:30
			<b>019ce4k</b>	<b>019ce1k</b>	18:45
			<b>020ce4k</b>	<b>020ce1k</b>	19:00
			<b>021ce4k</b>	<b>021ce1k</b>	19:15
			<b>022ce4k</b>	<b>022ce1k</b>	19:30
			<b>023ce4k</b>	<b>023ce1k</b>	19:45
			<b>024ce4k</b>	<b>024ce1k</b>	20:00

**Tabela 3:** Ficheiros do Meso-NH preparados para serem visualizados pelo diaprolog.

<b>CTRL [4km]</b>	<b>CTRL [1km]</b>	<b>Hora</b>	<b>CELL [4km]</b>	<b>CELL [1km]</b>	<b>Hora</b>
001ct4kdpq	001ct1kdpq	12:00	001ce4kdpq	001ce1kdpq	14:15
002ct4kdpq	002ct1kdpq	12:30	002ce4kdpq	002ce1kdpq	14:30
003ct4kdpq	003ct1kdpq	13:00	003ce4kdpq	003ce1kdpq	14:45
004ct4kdpq	004ct1kdpq	13:30	004ce4kdpq	004ce1kdpq	15:00
005ct4kdpq	005ct1kdpq	14:00	005ce4kdpq	005ce1kdpq	15:15
006ct4kdpq	006ct1kdpq	14:30	006ce4kdpq	006ce1kdpq	15:30
007ct4kdpq	007ct1kdpq	15:00	007ce4kdpq	007ce1kdpq	15:45
008ct4kdpq	008ct1kdpq	15:30	008ce4kdpq	008ce1kdpq	16:00
009ct4kdpq	009ct1kdpq	16:00	009ce4kdpq	009ce1kdpq	16:15
010ct4kdpq	010ct1kdpq	16:30	010ce4kdpq	010ce1kdpq	16:30
011ct4kdpq	011ct1kdpq	17:00	011ce4kdpq	011ce1kdpq	16:45
012ct4kdpq	012ct1kdpq	17:30	012ce4kdpq	012ce1kdpq	17:00
013ct4kdpq	013ct1kdpq	18:00	013ce4kdpq	013ce1kdpq	17:15
014ct4kdpq	014ct1kdpq	18:30	014ce4kdpq	014ce1kdpq	17:30
015ct4kdpq	015ct1kdpq	19:00	015ce4kdpq	015ce1kdpq	17:45
016ct4kdpq	016ct1kdpq	19:30	016ce4kdpq	016ce1kdpq	18:00
017ct4kdpq	017ct1kdpq	20:00	017ce4kdpq	017ce1kdpq	18:15
			018ce4kdpq	018ce1kdpq	18:30
			019ce4kdpq	019ce1kdpq	18:45
			020ce4kdpq	020ce1kdpq	19:00
			021ce4kdpq	021ce1kdpq	19:15
			022ce4kdpq	022ce1kdpq	19:30
			023ce4kdpq	023ce1kdpq	19:45
			024ce4kdpq	024ce1kdpq	20:00

## ANEXO C

### Dados de altitude.

**Tabela 1:** Dados da radiossonda lançada em Lisboa às 1200 UTC, 17 de Junho de 2017.

<b>08579 Estação de Lisboa</b>										
<b>PRES</b>	<b>HGHT</b>	<b>TEMP</b>	<b>DWPT</b>	<b>RELH</b>	<b>MIXR</b>	<b>DRCT</b>	<b>SKNT</b>	<b>THTA</b>	<b>THTE</b>	<b>THTV</b>
[hPa]	[m]	[C]	[C]	[%]	[g/kg]	[deg]	[knot]	[K]	[K]	[K]
1004.0	105	34.6	13.6	28	9.84	70	4	307.4	337.5	309.2
1000.0	139	33.0	10.0	24	7.76	200	2	306.1	330.0	307.6
938.0	713	30.8	7.8	24	7.12	81	4	309.6	331.8	310.9
925.0	838	29.8	6.8	24	6.74	55	4	309.8	330.9	311.0
902.0	1060	28.4	5.4	23	6.26	25	4	310.5	330.2	311.7
871.0	1369	26.4	3.4	23	5.63	105	12	311.6	329.5	312.6
861.0	1471	25.7	2.7	22	5.44	90	12	311.9	329.3	313.0
850.0	1584	25.0	2.0	22	5.23	95	12	312.3	329.0	313.3
841.0	1677	24.4	3.0	25	5.67	100	14	312.6	330.7	313.7
839.0	1698	24.2	3.2	25	5.77	99	13	312.6	331.0	313.7
824.0	1854	22.8	2.5	26	5.57	90	12	312.8	330.6	313.9
769.0	2451	17.6	-0.4	30	4.86	94	13	313.4	329.1	314.3
751.0	2652	15.7	1.9	39	5.88	95	14	313.5	332.3	314.6
735.0	2835	14.0	4.0	51	6.98	111	11	313.6	335.7	314.9
726.0	2939	13.5	-0.1	39	5.27	120	10	314.1	331.1	315.1
720.0	3009	13.2	-2.8	33	4.34	119	11	314.5	328.6	315.4
700.0	3245	10.8	0.8	50	5.83	115	14	314.4	333.1	315.5
675.0	3547	8.0	1.0	61	6.13	115	14	314.6	334.2	315.7
671.0	3595	7.6	0.7	62	6.02	115	14	314.6	333.9	315.8
665.0	3667	6.9	0.2	62	5.86	120	12	314.7	333.5	315.8
638.0	4002	3.9	-2.1	65	5.17	75	16	315.0	331.7	316.0
622.0	4207	2.0	-3.5	67	4.77	65	19	315.2	330.6	316.1
582.0	4743	-2.8	-7.2	72	3.86	85	19	315.6	328.2	316.3
567.0	4954	-4.7	-8.6	74	3.54	85	17	315.7	327.4	316.4
539.0	5347	-7.6	-13.7	61	2.47	85	12	316.9	325.2	317.3
526.0	5537	-9.0	-16.2	56	2.07	105	14	317.4	324.4	317.8
505.0	5854	-11.3	-20.3	47	1.52	101	12	318.3	323.6	318.6
500.0	5930	-11.9	-18.9	56	1.73	100	12	318.5	324.4	318.8
494.0	6022	-12.5	-19.0	58	1.74	110	12	318.9	324.9	319.2
481.0	6225	-13.8	-19.1	64	1.77	80	16	319.7	325.9	320.1
463.0	6516	-15.6	-19.3	73	1.80	65	16	320.9	327.2	321.3
462.0	6532	-15.7	-19.3	74	1.81	67	16	321.0	327.3	321.4
460.0	6565	-15.5	-23.5	50	1.26	70	16	321.6	326.1	321.9
456.0	6631	-16.1	-19.1	78	1.86	76	16	321.7	328.2	322.1
449.0	6748	-16.7	-19.3	80	1.86	87	16	322.4	328.9	322.7
434.0	7003	-17.7	-25.7	50	1.09	111	16	324.2	328.2	324.5
414.0	7354	-20.1	-27.0	54	1.02	145	16	325.5	329.3	325.7
400.0	7610	-21.9	-27.9	58	0.97	160	14	326.4	330.0	326.6
395.0	7702	-22.7	-27.7	64	1.00	162	15	326.6	330.2	326.8
390.0	7795	-23.2	-29.2	58	0.88	165	16	327.1	330.4	327.3

376.0	8062	-24.5	-33.5	43	0.61	140	11	328.8	331.1	328.9
373.0	8120	-25.0	-35.5	37	0.50	135	10	329.0	330.9	329.1
368.0	8217	-25.7	-38.9	28	0.36	130	10	329.2	330.6	329.3
346.0	8660	-29.3	-54.3	7	0.07	135	12	330.2	330.5	330.2
308.0	9476	-36.0	-59.4	7	0.04	145	16	332.0	332.2	332.0
300.0	9660	-37.5	-60.5	7	0.04	140	14	332.4	332.6	332.4
289.0	9913	-39.7	-60.2	9	0.04	120	14	332.8	333.0	332.8
283.0	10054	-40.9	-60.1	11	0.04	135	16	333.1	333.2	333.1
255.0	10759	-47.1	-59.3	23	0.05	140	12	334.1	334.3	334.1
254.0	10785	-47.3	-59.3	24	0.05	141	12	334.1	334.3	334.1
250.0	10890	-48.1	-60.1	24	0.05	145	16	334.4	334.6	334.4
232.0	11377	-52.0	-61.7	30	0.04	150	25	335.8	336.0	335.8
226.0	11548	-53.3	-62.3	33	0.04	163	22	336.2	336.4	336.3
218.0	11779	-54.1	-66.3	21	0.02	180	17	338.4	338.6	338.4
211.0	11989	-54.9	-69.9	14	0.01	172	15	340.4	340.5	340.4
200.0	12330	-56.5	-71.5	13	0.01	160	12	343.1	343.2	343.1
189.0	12686	-58.1	-72.7	14	0.01	170	10	346.1	346.1	346.1
183.0	12889	-59.1	-73.3	14	0.01	175	12	347.7	347.8	347.8
179.0	13028	-59.7	-73.8	14	0.01	160	12	348.9	348.9	348.9
178.0	13063	-59.9	-73.9	14	0.01	165	14	349.2	349.2	349.2
172.0	13279	-59.1	-77.0	8	0.01	200	19	353.9	353.9	353.9
169.0	13389	-58.7	-78.5	6	0.01	210	23	356.3	356.4	356.3
161.0	13694	-57.7	-82.9	3	0.00	245	12	363.1	363.1	363.1
157.0	13852	-57.1	-85.1	2	0.00	250	11	366.7	366.7	366.7
150.0	14140	-57.7	-89.7	1	0.00	260	10	370.5	370.5	370.5
147.0	14266	-58.0	-89.9	1	0.00	265	6	372.0	372.1	372.0
145.0	14352	-58.2	-90.1	1	0.00	265	4	373.1	373.1	373.1
134.0	14845	-59.5	-90.9	1	0.00	260	12	379.3	379.4	379.3
128.0	15131	-60.3	-91.4	1	0.00	235	12	383.0	383.0	383.0
122.0	15431	-61.1	-91.9	1	0.00	260	19	386.9	386.9	386.9
117.0	15693	-61.7	-92.3	1	0.00	295	12	390.3	390.3	390.3
105.0	16369	-63.5	-93.5	1	0.00	270	12	399.2	399.2	399.2
100.0	16670	-63.3	-93.3	1	0.00	255	16	405.2	405.2	405.2
99.0	16731	-63.4	-93.4	1	0.00	250	19	406.1	406.1	406.1
96.0	16919	-63.9	-93.6	1	0.00	280	21	408.8	408.8	408.8
93.0	17112	-64.3	-93.9	1	0.00	285	16	411.6	411.6	411.6
91.0	17245	-64.6	-94.1	1	0.00	320	14	413.6	413.6	413.6
84.2	17718	-65.7	-94.7	1	0.00	261	4	420.7	420.7	420.7
83.0	17805	-65.6	-94.7	1	0.00	250	2	422.6	422.6	422.6
72.0	18669	-64.5	-94.4	1	0.00	90	4	442.4	442.5	442.4
70.0	18840	-64.3	-94.3	1	0.00	50	4	446.5	446.5	446.5
68.0	19020	-63.9	-94.0	1	0.00	125	2	451.1	451.1	451.1
65.0	19300	-63.2	-93.5	1	0.00	20	14	458.4	458.4	458.4
64.0	19397	-63.0	-93.3	1	0.00	40	21	460.9	460.9	460.9
60.0	19798	-62.1	-92.6	1	0.00	100	17	471.5	471.5	471.5
57.0	20116	-61.4	-92.0	1	0.00	85	12	480.1	480.1	480.1

## ANEXO D

### Estações meteorológicas.

**Tabela 1:** RUEMA (Estação Automática Urbana).

	ID	Latitude	Longitude	Altitude	Município
1	935	38.75757778	-9.24244167	143	AMADORA
2	928	38.65435	-9.06719722	15	BARREIRO
3	916	39.74434167	-8.80983889	42	LEIRIA
4	820	39.26754444	-7.42088333	376	PORTALEGRE
5	903	41.15256667	-8.62598056	74	PORTO
6	546	41.13851944	-8.6025	93	VILA NOVA DE GAIA
7	929	38.52385	-8.88104167	32	SETÚBAL
8	566	41.30898056	-7.74052222	481	VILA REAL
9	675	40.66273889	-7.90396944	443	UISEU

**Tabela 2:** EMA I (Estação Automática Principal).

	ID	Latitude	Longitude	Altitude	Município
1	531	39.36140833	-9.40698056	32	PENICHE
2	570	39.83944444	-7.47869444	386	CASTELO BRANCO
3	548	40.1576	-8.46851667	171	COIMBRA
4	579	38.76620278	-9.12749444	104	LISBOA
5	535	38.71907778	-9.14972222	77	LISBOA
6	568	40.41136667	-7.55865278	1380	MANTEIGAS
7	571	39.29418333	-7.42131667	597	PORTALEGRE
8	545	41.232275	-8.67910833	69	MATOSINHOS
9	567	41.27420833	-7.71711389	561	VILA REAL
10	560	40.71492778	-7.89591667	636	UISEU
11	558	38.53654167	-7.88795833	246	ÉVORA

**Tabela 3:** EMA II (Estação Automática Climatológica).

	ID	Latitude	Longitude	Altitude	Município
1	726	39.54801111	-8.96931667	38	ALCOBAÇA
2	776	38.36356389	-8.48157222	29	ALCÁCER DO SAL
3	690	40.35425833	-7.38931111	468	COVILHÃ
4	773	38.61698056	-9.21286667	7	ALMADA
5	812	39.46110278	-8.02697222	51	ABRANTES
6	851	38.2007	-7.22609722	180	MOURA
7	705	40.43885833	-8.43994167	45	ANADIA

8	716	39.89765278	-8.41036111	405	ANSIÃO
9	669	40.92694167	-8.26105278	270	AROUCA
10	702	40.6354	-8.65961111	5	AVEIRO
11	824	39.1069	-7.87766111	150	AVIS
12	766	38.67449167	-9.04762222	6	BARREIRO
13	630	41.48897222	-7.97955	350	CABECEIRAS DE BASTO
14	750	38.78171111	-9.49753611	142	SINTRA
15	765	38.70903056	-9.48541667	9	CASCAIS
16	644	41.24295	-7.29933333	715	CARRAZEDA DE ANSIÃES
17	707	40.21346944	-8.45515278	35	COIMBRA
18	747	38.812575	-9.460025	25	SINTRA
19	744	38.94151944	-8.51325	25	CORUCHE
20	687	40.26434722	-7.48220833	482	COVILHÃ
21	704	40.44595556	-8.76159722	14	MIRA
22	835	38.8896	-7.14083333	208	ELVAS
23	837	38.86213333	-7.51275556	366	ESTREMOZ
24	713	40.13976389	-8.80594444	4	FIGUEIRA DA FOZ
25	671	40.83029722	-6.94083056	635	FIGUEIRA DE CASTELO RODRIGO
26	698	40.14063611	-7.50362778	493	FUNDÃO
27	683	40.52855833	-7.278675	1020	GUARDA
28	718	39.78055278	-8.82096667	45	LEIRIA
29	762	38.70956111	-9.182825	62	LISBOA
30	697	40.143925	-8.24418333	195	LOUSÃ
31	657	41.14588611	-8.24895833	250	PENAFIEL
32	635	41.49882222	-6.271525	693	MIRANDA DO DOURO
33	632	41.51478611	-7.19083889	250	MIRANDELA
34	637	41.33511111	-6.72628611	644	MOGADOURO
35	663	40.98566111	-7.60387778	715	MOIMENTA DA BEIRA
36	654	41.18986944	-7.018525	600	TORRE DE MONCORVO
37	826	38.94068333	-8.16405833	110	MORA
38	685	40.52349722	-7.85547222	425	NELAS
39	686	40.14565278	-7.92703889	890	PAMPILHOSA DA SERRA
40	767	38.65079444	-8.635025	64	PALMELA
41	655	41.172775	-7.54897222	130	SÃO JOÃO DA PESQUEIRA
42	848	38.31759444	-7.86075278	205	PORTEL
43	649	41.18445278	-8.64445	90	MATOSINHOS
44	806	39.72857222	-7.87055556	379	PROENÇA-A-NOVA
45	840	38.48486667	-7.47291667	249	REGUENGOS DE MONSARAZ
46	729	39.31391944	-8.92357778	69	RIO MAIOR
47	800	40.33918056	-7.03693333	858	SABUGAL
48	746	39.12594167	-9.37903889	38	TORRES VEDRAS

---

<b>49</b>	734	39.20126111	-8.73666111	73	SANTARÉM
<b>50</b>	770	38.54849722	-8.89078333	35	SETÚBAL
<b>51</b>	721	39.76361944	-9.03058889	40	MARINHA GRANDE
<b>52</b>	724	39.59212778	-8.373975	75	TOMAR
<b>53</b>	739	39.04389444	-9.179	110	TORRES VEDRAS
<b>54</b>	666	40.78116667	-7.357375	840	TRANCOSO
<b>55</b>	847	38.33191944	-8.04553889	202	VIANA DO ALENTEJO
<b>56</b>	803	39.84955556	-7.06858333	374	IDANHA-A-NOVA