

IV. Modelo AERMOD e preprocessadores

O AERMOD é um modelo de licenciamento, o que significa que foi desenvolvido para apoio à decisão de licenciar ou não uma actividade, sendo utilizado para se verificar se se respeitam os critérios de qualidade do ar ambiente pela legislação com o funcionamento de determinada instalação.

O AERMOD é constituído por um modelo de qualidade do ar e por dois preprocessadores: o AERMAP, preprocessador de terreno, e o AERMET, preprocessador meteorológico.

O AERMOD e seus preprocessadores foram desenvolvidos para American Meteorological Society (AMS) e a Environmental Protection Agency (EPA) dos Estados Unidos da América, por um grupo de trabalho denominado AERMIC. A motivação que está na base do desenvolvimento deste modelo é a construção de um modelo que, desenvolvido a partir de modelos anteriores, reúna os últimos conhecimentos sobre a camada limite atmosférica, a interacção da pluma com o terreno, a situação das plumas perto da superfície e a dispersão em meio urbano (Cimorelli et al, 1998).

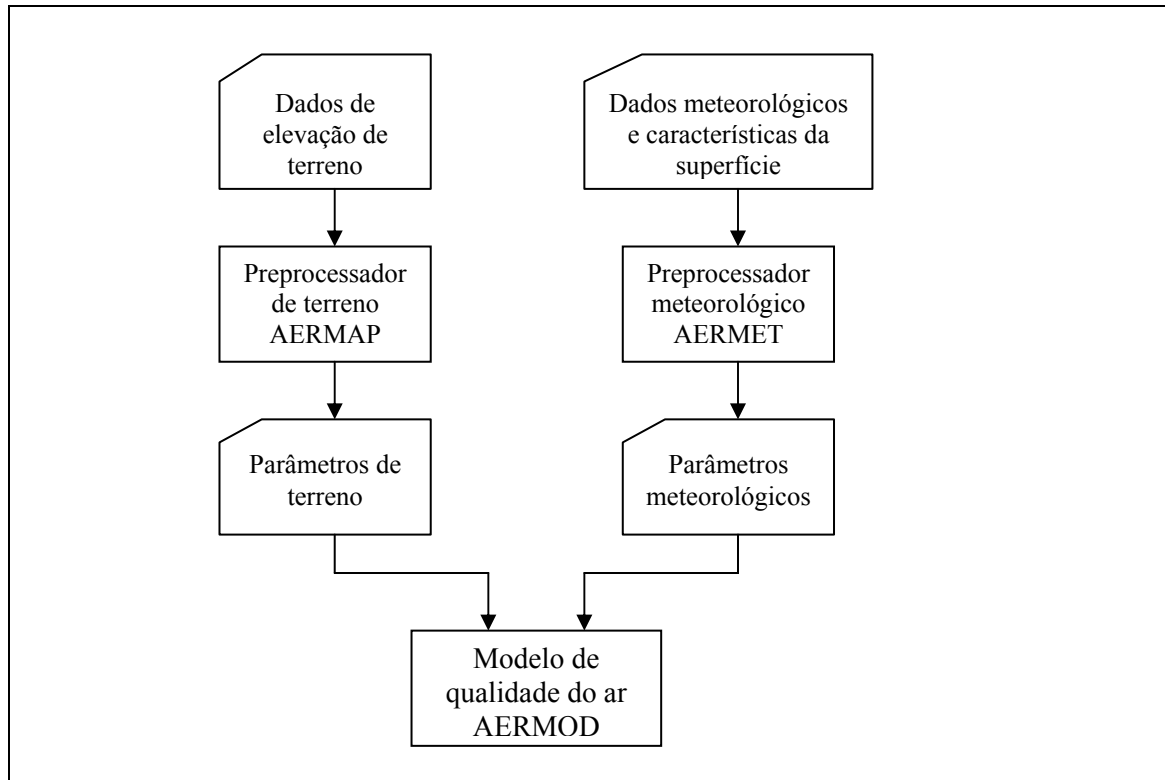
O modelo que serviu de base ao AERMOD é o Industrial Source Complex (ISC3) (U.S. EPA, 1995); neste sentido o AERMOD adopta a arquitectura de entrada e saída de informações do ISC3, altera os algoritmos deste modelo de acordo com as novas técnicas de modelação, assegura que as fontes e os processos atmosféricos presentemente modelados pelo ISC3 são também modelados, excepto no caso da deposição seca e húmida. Em relação ao ISC3 foram melhorados os algoritmos referentes a: dispersão nas camadas estável e convectiva, elevação e flutuação da pluma, penetração da pluma em inversões elevadas, cálculo de perfis verticais de vento, turbulência e temperatura, a camada limite urbana, tratamento dos receptores em todos os tipos de terreno desde a superfície até acima da altura da pluma.

O modelo está particularmente orientado para dispersão a curta distância de fontes industriais estacionárias. A principal vantagem do AERMOD é a existência de continuidade nos resultados obtidos para várias condições de estabilidade e de elevação de terreno, e a necessidade de um número não excessivo de dados e recursos computacionais, estes dois últimos aspectos que constituem uma desvantagem do modelo ISC3 (Cimorelli et al., 1998). O AERMOD é aplicável a áreas rurais ou urbanas, terreno plano ou complexo, fontes elevadas ou de superfície e fontes múltiplas (incluindo pontuais, tipo área e volume). O AERMOD é um modelo de base gaussiana de pluma em estado estacionário, obtendo concentrações horárias.

Depois de desenvolvido, o modelo foi testado com medidas de campo de modo a se identificarem as áreas onde era necessário mais melhorias, sendo utilizadas medições de SO₂ para terreno complexo e simples (Cimorelli et al., 1998). Adicionalmente foi comparado o seu comportamento relativamente ao de outros 4 modelos: ISC3, CTDMPPLUS (Perry, 1992), RTDM (Paine e Egan, 1987) e HPDM (Hanna e Paine, 1989; Hanna e Chang, 1993). Está correntemente em estudo a sua inclusão no Guideline on Air Quality Models (U.S. EPA, 1997).

A relação entre o modelo de qualidade do ar e os seus preprocessadores encontra-se esquematizada na Figura IV.1.

Figura IV.1 : Esquema da relação entre o AERMOD e os seus preprocessadores, AERMAP e AERMET.



Seguidamente realiza-se uma discussão mais aprofundada dos preprocessadores AERMAP e AERMET e do Modelo de Qualidade do Ar AERMOD.

IV.1 Preprocessador de terreno AERMAP

IV.1.1 Fundamentos

Para o cálculo das concentrações pelo AERMOD nos receptores, são necessárias as elevações da superfície do terreno, para receptores e fontes poluentes. Igualmente, como o AERMOD considera o efeito do terreno no escoamento através do conceito da linha de divisão é necessária a altura da elevação que mais influencia cada receptor, a chamada escala de altura.

Estes parâmetros são obtidos a partir de valores de elevação de terreno pelo AERMAP, considerando a área de terreno, especificada pelo utilizador, denominada domínio.

O programa produz dois ficheiros, um para os receptores e outro para fontes, que poderão ser utilizados pelo AERMOD.

IV.1.2 Dados necessários

IV.1.2.1 Ficheiros de Altimetria

Os ficheiros de altimetria devem apresentar valores de elevação de terreno para um conjunto de pontos referenciados geograficamente. O AERMAP suporta dois tipos específicos de ficheiros, ambos podendo ser obtidos junto do organismo United States Geological Survey (USGS) dos Estados Unidos da América, que são modelos de elevações digitais (DEM) com resoluções diferentes e considerados pelo AERMAP como de tipo DEM1 e DEM7:

- DEM de resolução 1 grau de latitude por 1 grau de longitude – tipo DEM1;
- DEM de resolução de 7.5 minutos de grau – tipo DEM7.

Nos ficheiros do tipo DEM1 os valores de elevação com a mesma longitude encontram-se agrupados em perfis de terreno, de Sul para Norte, em que cada ponto do perfil, designado nodo, está distanciado dos pontos adjacentes do perfil de 3 segundos de grau. Os perfis, de comprimento constante, encontram-se dispostos de Oeste para Este, com uma distância entre perfis de 3 segundos de grau. Este tipo de ficheiro está disponível para os Estados Unidos da América, Havai, Alasca, Porto Rico e Ilhas Virgens, podendo ser obtido pela Internet no site edftp.cr.usgs.gov. O sistema de coordenadas utilizado na referência geográfica dos pontos de elevação é o sistema de coordenadas geográficas.

Para o DEM7 o sistema de coordenadas utilizado para a referência geográfica dos pontos é o sistema UTM. Os pontos de elevação encontram-se dispostos em perfis com os pontos organizados de Sul para Norte, e os perfis seguem-se de Oeste para Este. Dentro de cada perfil os pontos encontram-se distanciados de 30 metros, sendo a distância entre perfis também de 30 metros. Os comprimentos dos perfis nestes tipo de ficheiro não têm sempre o mesmo perfil.

Está prevista no AERMAP a utilização de um outro tipo de ficheiros, tipo USER, que poderá ter o formato definido pelo utilizador e o suporte do qual deverá ser implementado pelo utilizador no código base do AERMAP. No código base de

AERMAP existem já algumas indicações no sentido da realização dessa implementação.

De acordo com a área que se pretende considerar como domínio poderão ser fornecidos ao AERMAP mais do que um ficheiro DEM do mesmo tipo, mas não poderão ser utilizados ficheiros de tipos diferentes. Sempre que se fornecerem vários ficheiros DEM estes deverão ser adjacentes.

IV.1.2.2 Ficheiro de instruções

O ficheiro de instruções deve conter as informações necessárias para a definição de receptores, fontes poluentes, domínio e os nomes dos ficheiros DEM e de ficheiros produzidos pelo programa. Estas informações deverão estar organizadas em conjunto de registos, chamados *pathways*. Cada *pathway* agrupa informações de acordo com as acções de processamento de dados com que estão relacionadas. Em cada um dos *pathways* as informações estão organizadas em registos de palavras chave ou *keywords*. Existem os seguintes *pathways*:

- CO;
- SO;
- RE;
- OU.

No *pathway* CO especificam-se informações respeitantes ao processamento geral dos dados. Estas informações incluem o tipo e o nome dos ficheiros de elevações, o domínio considerado que pode ser especificado em coordenadas geográficas ou em coordenadas do sistema UTM, para qualquer tipo de DEM que seja especificado. A escolha do domínio deverá ser realizada com cuidado porque é nesta área que são consideradas as elevações que poderão influenciar a concentração de poluentes nos vários receptores. Como os receptores são definidos com a utilização de um sistema de coordenadas definido pelo utilizador deve ser especificado também neste *pathway* a correspondência entre o sistema de coordenadas definido pelo utilizador e o sistema de coordenadas UTM. Outras informações incluem especificações para a extracção ou não de elevações para os receptores pelo AERMAP e para a consideração de receptores elevados acima do nível do solo e informações que o programa deve incluir nos cabeçalhos dos ficheiros produzidos. Neste *pathway* o utilizador poderá também escolher entre a opção de fazer o processamento dos dados ou apenas verificar a sintaxe do ficheiro de instruções e se os dados fornecidos são adequados e não irão originar erros no processamento de dados. Apresentam-se no Quadro IV.1 o sumário das informações que é possível especificar para este *pathway*, e as *keywords* utilizadas na sua definição.

O *pathway* SO agrupa os registos relativos às fontes de poluentes. As fontes são identificadas e localizadas pelo utilizador. Podem-se considerar fontes pontuais, e do tipo área ou volume. No caso das fontes tipo área estas poderão ser áreas rectangulares, polígonos ou círculos. O utilizador pode também especificar a elevação da base de cada fonte. Estas informações são definidas com recurso a uma única *keyword* : LOCATION.

Quadro IV.1 : Informações que se podem incluir no *pathway* CO e as *keywords* utilizadas na sua definição (U.S. EPA, 1998c).

| Informações | Keywords |
|---|----------------------|
| Informações a serem incluídas no cabeçalho do ficheiro de saída, em uma ou duas linhas (pode ser utilizado para identificação da execução do programa) | TITLEONE TITLETWO |
| Opção de extracção das elevações para a base dos receptores ou fontes a partir dos ficheiros de informação de terreno ou de utilização dos valores fornecidos pelo utilizador | TERRHGT |
| Especifica que os receptores podem ter uma altura acima do solo | FLAGPOLE |
| Tipo de ficheiros contendo valores de elevações de terreno | DATATYPE |
| Nome de ficheiro contendo valores de elevação de terreno | DATAFILE |
| Extensão do domínio – pode ser especificada em coordenadas geográficas ou coordenadas UTM | DOMAINXY DOMAINLL |
| Coordenadas da âncora no sistema de coordenadas definido pelo utilizador e no sistema de coordenadas UTM | ANCHORXY |
| Realização (parâmetro RUN) ou não (parâmetro NOT) do cálculo de concentrações | RUNORNOT |

No *pathway* RE encontram-se as instruções para a definição dos receptores. Os receptores podem ser discretos, ou seja, localizados em pontos específicos do espaço e sem relação com outros receptores ou organizados em redes, utilizando coordenadas polares ou cartesianas, em que as redes de tipo polar podem estar centradas numa fonte poluente. Uma outra possibilidade de receptores são os receptores discretos mas agrupados em arcos. O AERMAP suporta várias redes de receptores para uma mesma execução do programa, até um número de 10, com um máximo de 10 000 receptores por rede. Se não se pretende extrair as elevações dos ficheiros de altimetria, deverão ser especificadas as elevações da base dos receptores. Igualmente, se se pretenderem considerar receptores elevados acima do nível do solo, deverá ser especificada a altura acima do solo para cada receptor. No Quadro IV.2 apresentam-se as informações que podem ser incluídas neste *pathway* e as *keywords* utilizadas para a sua definição.

Quadro IV.2 : Informações que se podem incluir no *pathway* RE e as *keywords* utilizadas na sua definição (U.S. EPA, 1998c).

| Informações | Keywords |
|---|----------|
| Definição de rede cartesiana de receptores | GRIDCART |
| Definição de rede polar de receptores | GRIDPOLR |
| Definição de receptor cartesiano discreto | DISCCART |
| Definição de receptor polar discreto | DISCPOLR |
| Definição de receptor cartesiano discreto pertencente a um arco | EVALCART |
| Definição da unidade de elevação (metros ou pés) | ELEVUNIT |

No último *pathway*, OU, são indicados os nomes dos ficheiros produzidos pelo AERMAP, um para os resultados dos receptores e outro para os resultados das fontes, o que é especificado pelas *keywords* RECEPTOR e SOURLOC.

As regras para a colocação das informações no ficheiro e nas *keywords* poderão ser encontradas no Manual de Utilizador do AERMAP (U.S. EPA, 1998c).

IV.1.3 Processamento de dados

O cálculo das elevações na base dos receptores e fontes é realizado por interpolação a duas dimensões considerando os quatro nodos mais próximos do ficheiro de altimetria. Para este efeito apenas são considerados nodos que se encontram contidos dentro do domínio.

As escalas de altura para cada receptor, isto é, as elevações de terreno, definidas pelos nodos do DEM, que mais influenciam cada receptor são calculadas com base nas seguintes considerações:

- 1) o efeito de uma elevação do terreno no escoamento perto do receptor diminui com o aumento da distância da elevação em relação ao receptor;
- 2) uma elevação do terreno influencia tanto mais um receptor quanto maior a altura da elevação.

A contabilização dos efeitos é realizada com o cálculo de uma altura efectiva, h_{eff} , para cada ponto do ficheiro de altimetria e relativamente a cada receptor definido, com as coordenadas $\{x_r, y_r, z_r\}$, onde x é a coordenada horizontal, y é a coordenada vertical e z a elevação, através da Equação IV.1 (Cimorelli et al., 1998),

$$h_{eff}\{x_t, y_t\} = z_t e^{(-x_{rt}/r_0)} \quad (IV.1)$$

onde $\{x_t, y_t, z_t\}$ são as coordenadas do ponto de terreno, $x_{rt} = [(x_r - x_t)^2 + (y_r - y_t)^2]^{1/2}$ e r_0 é o factor de peso do terreno, obtido por $10.0\Delta h_{máx}$, sendo $\Delta h_{máx}$ é a diferença entre máximo e mínimo das elevações em todo o domínio.

A escala de altura para um dado receptor é a altitude real do ponto de terreno com maior h_{eff} , relativamente a esse receptor.

IV.1.4 Organização do AERMAP

O código base para a criação do executável do programa AERMAP (Aermap.exe) é constituído pelo programa AERMAP e subrotinas associadas e o ficheiro AERMAP.INC. A declaração geral das variáveis é realizada no ficheiro AERMAP.INC.

Ao longo da execução do AERMAP são geradas mensagens que podem ser de três tipos diferentes: informacionais, de aviso ou de erro. As mensagens de aviso ou erro resultam de anomalias detectadas nos dados durante a execução do programa, mas enquanto as mensagens de aviso servem apenas para que o utilizador seja alertado para a situação, as mensagens de erro determinam que o processamento dos dados e os cálculos efectuados no programa não sejam realizados.

O nome do ficheiro de instruções e do ficheiro de mensagens deve ser fornecida na linha de comando onde se principia a execução do programa AERMAP, tal como especificado no Manual de Utilizador do AERMAP (EPA, 1998c).

As acções realizadas pelo programa podem-se agrupar em duas fases:

- préprocessamento: processamento das instruções do utilizador contidas no ficheiro de entrada;

- processamento: cálculo das elevações para os receptores e fontes e realização do relatório final.

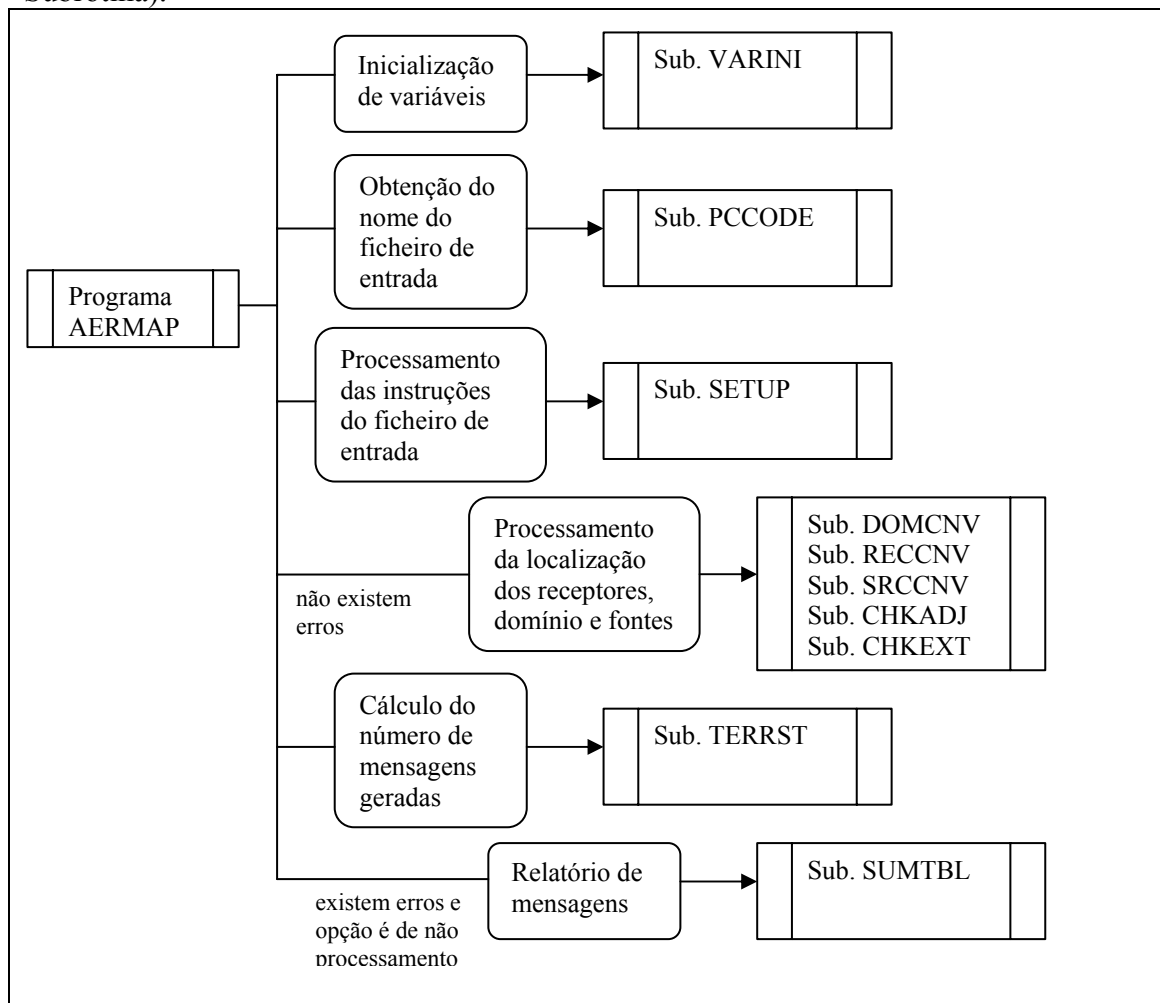
Na fase de préprocessamento incluem-se as seguintes acções:

- inicialização de variáveis;
- obtenção do nome dos ficheiros de instruções e de mensagens da linha de comando – esta acção é dependente do compilador utilizado, utilizando-se subrotinas externas dependentes do compilador, são suportados os compiladores Microsoft e Lahey;
- processamento das informações do ficheiro de instruções - decodificação dos registos em geral e processamento das instruções particulares referentes a cada pathway;
- cálculo das coordenadas dos receptores e fontes – no caso dos receptores esta acção só é realizada se não forem detectados erros na definição dos receptores feita pelo utilizador;
- sincronização do sistema de coordenadas do domínio e do tipo de ficheiro de altimetria (coordenadas geográficas para o caso de DEM1 e UTM para o caso de DEM7);
- análise da qualidade das instruções fornecidas – os ficheiros de altimetria devem ser adjacentes, os receptores devem estar dentro do domínio e o domínio contido nos ficheiros de altimetria;
- realização de um sumário de mensagens geradas nesta fase – esta acção só é realizada se tiverem sido geradas mensagens de erro e se o utilizador tiver especificado a opção de não processamento de dados.

Apresenta-se na figura Figura IV.2 o esquema das principais acções realizadas pelo AERMAP na fase de préprocessamento, com a indicação das principais unidades de código base.

Para a conversão de coordenadas de sistema UTM em coordenadas geográficas e vice-versa é utilizada uma subrotina específica, UTMGEO, onde o utilizador poderá escolher qual o esferóide a considerar para a referência. Os esferóides disponíveis são o CLARK 1866, CLARK 1880, CLARK 1880, BESSEL, MODIFIED MERCURY 1968 e Internacional. Cada um destes esferóides é especialmente aplicável para uma zona do globo terrestre. Se não for feita alteração do código base o esferóide considerado é o CLARK 1880, que é aplicado para a América do Norte, América Central e Filipinas. Para a aplicação em Portugal deve ser utilizado o esferóide Internacional (Instituto Geográfico do Exército, 1998). O utilizador poderá escolher o esferóide mais apropriado para o fim que pretende alterando o valor do parâmetro ISPHER e deverá compilar de novo o AERMAP. Mais informações sobre esferóides a aplicar em cada zona poderão ser encontradas na publicação Sistemas de Referência (Instituto Geográfico do Exército, 1998).

Figura IV.2 : Esquema da realização da fase preprocessamento pelo AERMAP (Sub. = Subrotina).

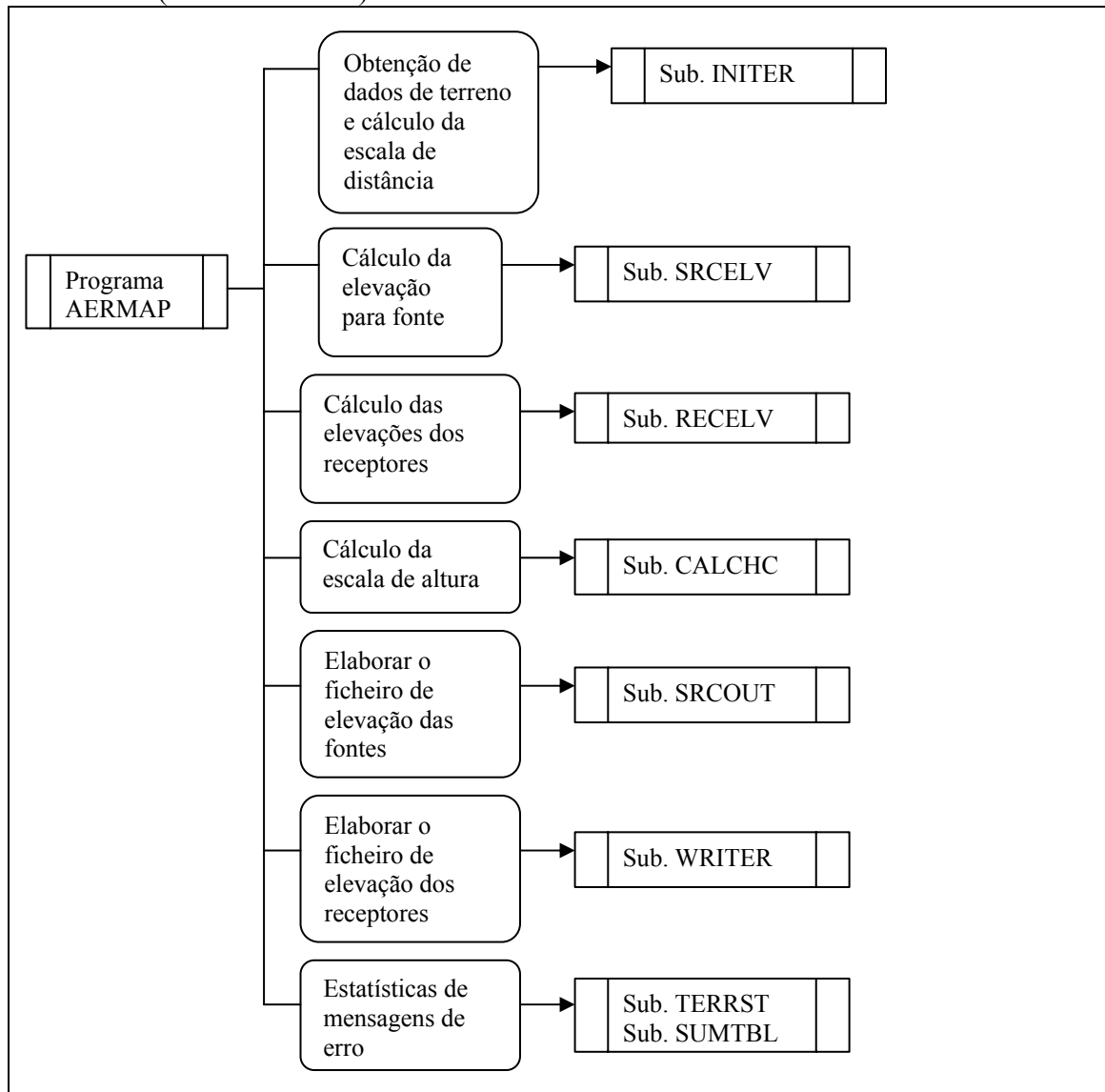


A fase de processamento, realizada apenas se o utilizador não tiver especificado a opção da sua não realização e se não tiverem sido geradas mensagens de erro na fase de preprocessamento, inclui a realização das seguintes acções:

- obtenção das elevações a partir dos ficheiros de altimetria - o AERMAP lê os cabeçalhos e os registos dos ficheiros, armazenando os valores de elevação por perfis num ficheiro de acesso directo e as coordenadas no primeiro ponto de cada perfil, parâmetro de zona UTM (fuso) e número de nodos em cada perfil num ficheiro índice;
- cálculo das elevações da base das fontes e dos receptores – apenas se tiver sido especificada pelo utilizador a opção de extracção das elevações a partir dos ficheiros de altimetria;
- cálculo da escala de altura para cada receptor;
- realização dos ficheiros de dados para os receptores e fontes, que serão utilizados pelo AERMOD;
- envio para o écran de uma mensagem indicando que a execução do program termina ou não com sucesso;
- destruição dos ficheiros de acesso directo e de índice.

Apresenta-se na Figura IV.3 as principais acções realizadas pelo AERMAP na fase de processamento e as principais unidades de código base envolvidas.

Figura VI.3 : Esquema de realização da fase de processamento de dados pelo AERMAP (Sub.=Subrotina).



Em Apêndice, no Documento 3 deste trabalho, poderá ser encontrada uma lista das principais unidades de código base utilizadas para a construção do executável do AERMAP, organizadas por função desempenhada.