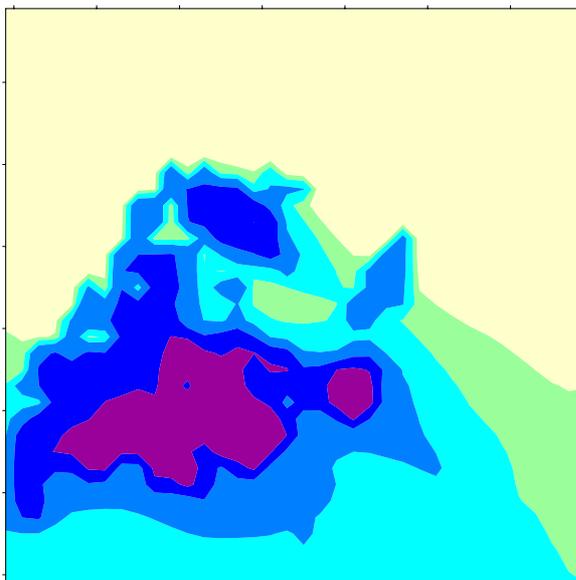


ESTUDO DE IMPACTE AMBIENTAL DO ALQUEVA
CLIMA
Relatório Final



Pedro M. A. Miranda
Francisco Abreu
Rui Salgado

Relatório Técnico do ICAT
Janeiro 1995

PREÂMBULO

Este estudo foi realizado para a SEIA (Sociedade de Engenharia e Inovação Ambiental), sob a coordenação do Professor Doutor Pedro M.A. Miranda, e faz parte do Estudo Integrado de Impacte Ambiental do Empreendimento de Alqueva, realizado para a União Europeia, DGXII.

A equipa responsável por este estudo incluiu:

- Pedro M. A. Miranda , Professor Auxiliar do Departamento de Física da Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, PhD em Meteorologia (Reading, Inglaterra)

- Francisco G. Abreu , Professor Associado do Departamento de Ciências do Ambiente do Inst. Sup.Agronomia de Lisboa, PhD em Agrometeorologia (Nottingham, Inglaterra).

- Rui Salgado, Assistente do Departamento de Física da Universidade de Évora, Licenciado em Ciências Geofísicas pela FCUL.

Colaboraram ainda directamente:

- José Paulo M. Abreu, Professor Auxiliar do Inst.Sup.Agronomia, colaborou na modelação agrometeorológica.

- José Alexandre V. Andrade, Assistente da Universidade de Évora, colaborou em trabalho de campo.

- Pedro M. Soares, aluno do 4º ano da licenciatura em Ciências Geofísicas da F.C.U.L., colaborou em trabalho de campo e na preparação de dados e gráficos climatológicos.

- André M. S. Ferrão, aluno do 5º ano do Inst.Sup.Agronomia, colaborou na preparação de informação climatológica.

- Sérgio Aranha, técnico do Departamento de Física da Universidade de Évora, colaborou em trabalho de campo.

Fontes de informação

Para a realização deste trabalho foi solicitado, no momento da sua aceitação, um conjunto de dados na posse do Instituto de Meteorologia, incluindo observações e valores médios das variáveis climatológicas. Infelizmente, foram levantadas enormes dificuldades à disponibilização desses dados, acabando por ser requerido à equipa responsável por este estudo uma redução substancial - para cerca de um terço - da quantidade de informação a utilizar. A disponibilização dos dados só veio a ser possível após um demorado processo de “negociação”, tendo a informação climatológica finalmente sido fornecida com vários meses de atraso, a pouco mais de um mês do término do prazo contratual. O prazo inicialmente previsto para o Estudo de Impacte Ambiental do Alqueva, já de si extremamente reduzido dada a complexidade dos problemas envolvidos, viu-se assim reduzido de forma muito significativa, implicando naturalmente um atraso na sua conclusão. Assim, prevê-se ainda a introdução de alguns complementos ao presente Relatório.

Como condição de fornecimento da informação climatológica foi expressamente exigido pelo Instituto de Meteorologia:

- a) A não inclusão de informação referente a observações individualizadas;
- b) A indicação, que aqui fica registada, de que qualquer utilização da informação divulgada neste estudo, quer tenha sido produzida pelo Instituto de Meteorologia quer tenha sido calculada pelos autores a partir dos dados de base fornecidos pelo I.M., carece de prévia autorização do I.M.;

A informação utilizada neste estudo e não directamente associada a referências provém das seguintes fontes:

- Dados extraídos do Anuário Climatológico de Portugal, constando de médias mensais de variáveis meteorológicas em 12 estações do Alentejo em todo o período de funcionamento das referidas estações (ver Quadro 1.1);

- Dados fornecidos pelo I.M., em diskettes MS-DOS, contendo observações diárias em 12 estações do Alentejo no período 1961-90;

- Normal climatológica 1961-90, para todas as estações e postos udométricos do Alentejo, fornecida pelo I.M..

- Dados contidos na publicação "O Clima de Portugal, fascículo XXXIV, Caracterização Climática da Região Agrícola do Alentejo", do INMG.

- Informação obtida em Campanha Micrometeorológica realizada no Verão e Outono de 1994.

Agradecimentos

A equipa responsável por este estudo agradece ao Instituto Geofísico do Infante D. Luís da Universidade de Lisboa, ao Centro de Geofísica da Universidade de Lisboa, ao Centro de Geofísica da Universidade de Évora, em especial à Professora Doutora Ana Maria Almeida e Silva, e ao Instituto Superior de Agronomia a colaboração prestada à realização deste trabalho, em termos de cedência de dados e equipamento, sem a qual não teria sido possível a sua realização. Os autores agradecem muito especialmente a contribuição do Professor Doutor Luís Mendes Victor (Universidade de Lisboa) e do Dr. António Pedro Viterbo (Centro Europeu de Previsão do Tempo, UK), que leram a versão inicial deste documento e apresentaram diversas sugestões de melhoramento, e do Doutor Joël Noilhan (Météo France) que disponibilizou uma versão do seu modelo de superfície.

Finalmente, salienta-se a colaboração mantida com a equipa responsável pelo estudo de Desertificação (dirigida pela Eng. Júlia Seixas da Universidade Nova de Lisboa), com a coordenação do estudo integrado de impacte ambiental (sob a direcção

da Eng. Ana Teresa Chinita da SEIA) e com a Comissão Instaladora do Alqueva, na pessoa do Professor Doutor Alexandre Bettencourt.

Índice

1. Introdução	1
2. Metodologia do Estudo	3
2.1 Caracterização climática do vale do Guadiana	3
2.2 Avaliação do impacte atmosférico do Alqueva	4
2.3 Impacte agrometeorológico	6
3. O Clima do Vale do Guadiana	9
3.1. Classificação climática	10
3.2. Temperatura do ar	11
3.3 - Humidade	13
3.4 - Vento	14
3.5 - Precipitação	16
3.5.1 - Variabilidade interanual	21
3.6 - Evaporação	23
3.6.1. Evaporação Potencial medida pelo Evaporímetro de Piche	23
3.6.2. Evapotranspiração	24
3.6.2.1. Evapotranspiração potencial de Penman	25
3.6.3. Evapotranspiração Real e Balanço Hídrico	28
3.6.3.1 Evapotranspiração real e deficiência hídrica	31
3.7. Nebulosidade	33
3.8 - Insolação	34
3.8.1 - Radiação Global e Balanço energético à superfície	34
3.9. Nevoeiro, Geada e Orvalho	35
3.10. Outros parâmetros meteorológicos (Trovoadas, Neve, Granizo)	36
3.11. Variabilidade Climática	37
3.12. Nota final	42
4. Análise Micrometeorológica	39
4.1. Campanha observacional	43
4.2 Análise dos dados	44
4.2.1 Caracterização geral e variabilidade espacial	44
4.2.2 Determinação dos efeitos locais da albufeira do Monte Novo	45
4.2.3 Estimativa dos fluxos energéticos à superfície	49
5. Impacte Climático	53
5.1. Modelos	53

5.1.1. Modelo Atmosférico	53
5.1.2. Modelo de solo	54
5.1.3 Modelo Agrometeorológico	57
5.1.3.1 Temperatura e desenvolvimento vegetal	57
5.1.3.2. Radiação solar e produção vegetal	58
5.1.3.3. Água e produção vegetal	59
5.2 Estratégia de simulações	59
5.3 Características da superfície no Alentejo	63
5.3.1 Topografia	63
5.3.2 Tipo de Solo	64
5.3.3 Carta de irrigação e albufeira	65
5.3 Análise Linearizada	66
5.4. Simulações unidimensionais	68
5.5. Simulações tridimensionais	70
5.6. Simulações pontuais com forçamento atmosférico	85
5.7. Impacte Agrometeorológico	93
5.7.1. Metodologia	93
5.7.2. Simulações	93
5.8. Discussão	96
6. Conclusões	99
6.1. Recomendações	100
Referências	103
Apêndice A	107
Apêndice B	161
Apêndice C	175
Apêndice D	181

1. Introdução

A circulação atmosférica é fortemente influenciada pela superfície da Terra, reflectindo a estrutura espacial da orografia, das massas de água e da cobertura do solo. As heterogeneidades observadas na superfície do planeta são uma das razões da existência de *energia disponível*, a partir da qual se pode manter um ciclo de conversões de Energia e Entropia, que estão na base da circulação observada. Não quer isto dizer, no entanto, que qualquer alteração significativa e permanente da superfície se traduza necessariamente numa correspondente alteração climática. Na verdade, existem certos *condicionamentos dinâmicos* que favorecem o efeito das grandes e médias *escalas* horizontais, de tal modo que uma alteração intensa mas localizada no espaço pode ter um efeito desprezável, enquanto uma outra alteração mais ténue mas extensa pode ser muito mais significativa.

O conceito de *escala* tem por isso um papel central na Meteorologia. Convencionalmente fala-se em quatro escalas distintas na dinâmica da Atmosfera - a Escala Planetária (dezenas de milhares de km), a Escala Sinóptica (milhares de km), a Mesoscala (dezenas de km) e a Microscala - verificando-se que as duas escalas intermédias têm um papel fundamental na definição do clima observado em cada local. Na latitude de Portugal, em particular, observa-se que os regimes de circulação médios e a precipitação são em grande medida condicionados pela escala sinóptica, especialmente no período de Inverno, em que ocorre a maior parte da precipitação sob a forma de precipitação frontal.

No entanto é também bem conhecida a influência de circulações de mesoscala no estabelecimento de diferenciação climática entre locais relativamente próximos. Por outro lado, o valor local de diversos parâmetros atmosféricos é muitas vezes fortemente condicionado por condições que ocorrem numa escala horizontal ainda mais pequena, influenciando por exemplo a exposição ao Sol ou ao Vento com consequências, por vezes significativas, em termos de Temperatura. O empreendimento do Alqueva, dada a natureza das alterações introduzidas e a sua extensão horizontal, implicará com certeza alterações microclimáticas e poderá implicar alterações na circulação de mesoscala da região envolvente. Na verdade, é aparentemente um dos poucos empreendimentos localizados capaz de ter efeito à escala regional, em termos climáticos.

Por outro lado dá-se a situação de a zona de implantação do Alqueva (barragens e áreas irrigadas) ser uma zona reconhecidamente sensível em termos climáticos, caracterizada por uma grande variabilidade natural da água disponível, sob a forma de precipitação ou de caudais de superfície, e integrada numa região ameaçada por um processo de desertificação. Também por essa razão, o problema do impacte atmosférico do Alqueva é extremamente complexo. As razões dessa complexidade são comuns à generalidade dos problemas de mudança climática, estando relacionadas com a série intrincada de relações existentes entre os diferentes subsistemas intervenientes na definição do clima e com a interacção entre processos que ocorrem em escalas de tempo muito distintas.

2. Metodologia do Estudo

Este estudo procura abordar um conjunto de problemas considerados fulcrais para a análise do impacte atmosférico do Alqueva, recorrendo a informação obtida a partir de observações e simulações numéricas. A metodologia seguida foi obviamente limitada por dois condicionamentos fundamentais: o tempo reduzido em que o estudo se realizou e a falta de informação observacional de mesoscala na região em estudo.

O estudo compreende essencialmente três aspectos:

a) Caracterização climática da região afectada, o que corresponde na linguagem do impacte ambiental à definição do estado de referência;

b) Estimativa qualitativa e quantitativa do impacte atmosférico do Alqueva;

c) Estimativa do impacte em termos agrometeorológicos.

Informação mais detalhada sobre a metodologia seguida em cada aspecto do estudo será apresentada no início das secções correspondentes.

Finalmente salienta-se que este estudo não aborda alguns aspectos do impacte climático do Alqueva envolvendo hidrologia de superfície e subterrânea e evolução do solo, que serão analisados em outros Anexos Técnicos (Hidrologia e Desertificação).

2.1. Caracterização climática do vale do Guadiana

A informação recolhida pela rede climatológica no Alentejo é suficiente para estabelecer os aspectos fundamentais da distribuição espacial das diferentes variáveis, em especial os que estão relacionados com a circulação sinóptica e sua interacção com a orografia local. No entanto, ela não é de modo nenhum suficiente para caracterizar e compreender diversos aspectos importantes do clima local, especialmente os que ocorrem numa escala espacial semelhante à do empreendimento do Alqueva e por isso mais sensíveis às alterações a realizar pelo próprio projecto. A densidade espacial da rede é demasiado baixa e as observações realizadas na generalidade das estações limitam-se à medição de dois valores diários (às 9h e 15h ou às 9h e 18h). Por outro lado não

existe qualquer observação da situação atmosférica acima da superfície, necessária para a caracterização da estrutura da camada limite.

Nestas condições estabeleceu-se o seguinte programa de trabalhos:

a) Elaboração de uma síntese detalhada do clima do Alentejo recorrendo a estatísticas realizadas com base nas observações da rede climatológica e a diversas monografias publicadas por vários autores. Essa síntese procederá à apresentação da distribuição espacial média das diferentes variáveis climáticas observadas, seu ciclo anual e informação referente a variabilidade interanual. Proceder-se-á igualmente à avaliação de algumas variáveis não observáveis, nomeadamente a evapotranspiração potencial, utilizando metodologias apropriadas.

A análise do comportamento a longo prazo do clima do Alentejo, com base nas séries longas de observações disponíveis será abordada, ainda que de forma limitada, dado existir um Anexo Técnico sobre Desertificação que aborda esse mesmo tema.

b) Realização de uma campanha de observações de superfície no Alentejo interior, incluindo observações a mais de um nível, com vista à obtenção de informação microclimatológica, incluindo a estimativa de fluxos reais de radiação de pequeno e grande c.d.o, evaporação e entalpia entre a superfície e a atmosfera, fluxo de calor no solo e informação detalhada sobre o ciclo diurno das diferentes variáveis meteorológicas e sua estrutura espacial de mesoscala. Esta campanha foi iniciada em Julho de 1994 e estendeu-se até Outubro de 1994. Utilizam-se igualmente alguns dados não publicados obtidos em períodos anteriores. Uma descrição mais detalhada dos trabalhos realizados encontra-se numa secção posterior do Relatório. A Figura 2.1 apresenta a localização aproximada das estações micrometeorológicas, com um enquadramento cartográfico que inclui os limites dos concelhos, das albufeiras existentes e a criar e da zona que será irrigada e o domínio utilizado nas simulações numéricas tridimensionais.

2.2. Avaliação do impacte atmosférico do Alqueva

O empreendimento do Alqueva vai introduzir alterações importantes na superfície, potencialmente susceptíveis de influenciar a estrutura da camada limite atmosférica e a circulação à escala regional. De entre essas alterações salienta-se:

a) Alterações substanciais dos fluxos de vapor de água (evaporação) e entalpia entre a atmosfera e a superfície, tanto nas zonas alagadas como nas zonas irrigadas;

b) Alteração da capacidade térmica da superfície, especialmente nas zonas alagadas, e do seu albedo;

c) Alterações da ocupação do solo, com possível influência nos fluxos de momento entre a superfície e a atmosfera.

d) Alteração da orografia associada ao enchimento das zonas alagadas;

A importância efectiva de cada um destes efeitos é difícil de estimar *a priori*. Qualitativamente, pensa-se que a ordem utilizada corresponde a importância relativa decrescente. No que se refere ao possível impacte dessas alterações sobre o clima e ainda em termos puramente qualitativos, poderão considerar-se:

a) Humidificação da Camada Limite Atmosférica;

b) Impacte térmico resultante da modificação da repartição dos fluxos de energia, com alteração do ciclo diurno da Temperatura;

c) Alterações da circulação de Mesoscala resultantes directamente de alterações orográficas (provavelmente demasiado reduzidas) e indirectamente dos forçamentos termodinâmicos, i.e., de *efeitos de brisa*.

Seria extremamente útil ser capaz de traduzir estas alterações potenciais em estimativas numéricas de variações de observáveis atmosféricos, nomeadamente Humidade relativa, Temperatura, Vento, Nebulosidade e Precipitação, acompanhadas de uma estimativa da extensão da zona afectada. A complexidade do problema não permite a realização de previsões exactas mas, utilizando modelos atmosféricos apropriados, é possível estimar objectivamente pelo menos a natureza e possivelmente a ordem de grandeza dos impactes.

Assim, considerar-se-á o problema do impacte atmosférico do Alqueva, procurando abordar, conjuntamente, duas questões complementares:

a) O problema da transformação da massa de ar - i.e., da alteração da estrutura vertical da camada limite atmosférica devida à advecção de uma massa de ar sobre a zona afectada pelo Alqueva (barragens e áreas irrigadas).

b) O problema da circulação de mesoscala - i.e. da alteração da circulação atmosférica em resultado do empreendimento.

Os dois problemas anteriores estão, como é natural, intrinsecamente ligados, dada a existência de processos de realimentação entre os dois processos. Para a sua análise recorrer-se-á a um *modelo numérico tridimensional*, não-hidrostático, com uma representação da orografia real e com forçamentos realistas, obtidos a partir de observações, dos fluxos de radiação solar e atmosférica e do seu ciclo diurno. Este modelo numérico inclui, em particular, um modelo relativamente detalhado da superfície. Para o efeito, far-se-á um conjunto de simulações cujo objectivo será o de avaliar a sensibilidade do sistema às alterações previstas e estimar alguns parâmetros fundamentais do impacte: sua intensidade e extensão da zona afectada.

2.3. Impacte agrometeorológico

A existência de uma superfície extensa de água e de, especialmente, perímetros de rega causará perturbações nas características da baixa atmosfera, através de alterações nos balanços energéticos e hídricos locais, e na circulação do ar à meso e micro escalas. Antecipa-se que o aumento de disponibilidade hídrica levará a um aumento das taxas de evapotranspiração e, conseqüentemente, afectará a proporção de energia disponível para o aquecimento do ar. Esperam-se igualmente alterações locais do albedo, com efeito sobre o balanço energético da superfície e da camada limite atmosférica. Este conjunto de alterações terá um impacte no ritmo de desenvolvimento vegetal.

No âmbito deste estudo recorrer-se-á a um *modelo agrometeorológico*, utilizando o conceito de *tempo térmico* de Monteith para estimar o desenvolvimento vegetal e simulando o balanço hídrico do solo. Esse modelo permite estimar as disponibilidades térmicas e simular as *produtividades potenciais* actuais quando os factores limitantes são a água (no período de deficit hídrico) ou a radiação. O mesmo modelo será utilizado para estimar as produtividades potenciais pós-Alqueva, admitindo

nesse caso que a água não é um factor limitante, e introduzindo as alterações previstas em termos microclimatológicos.

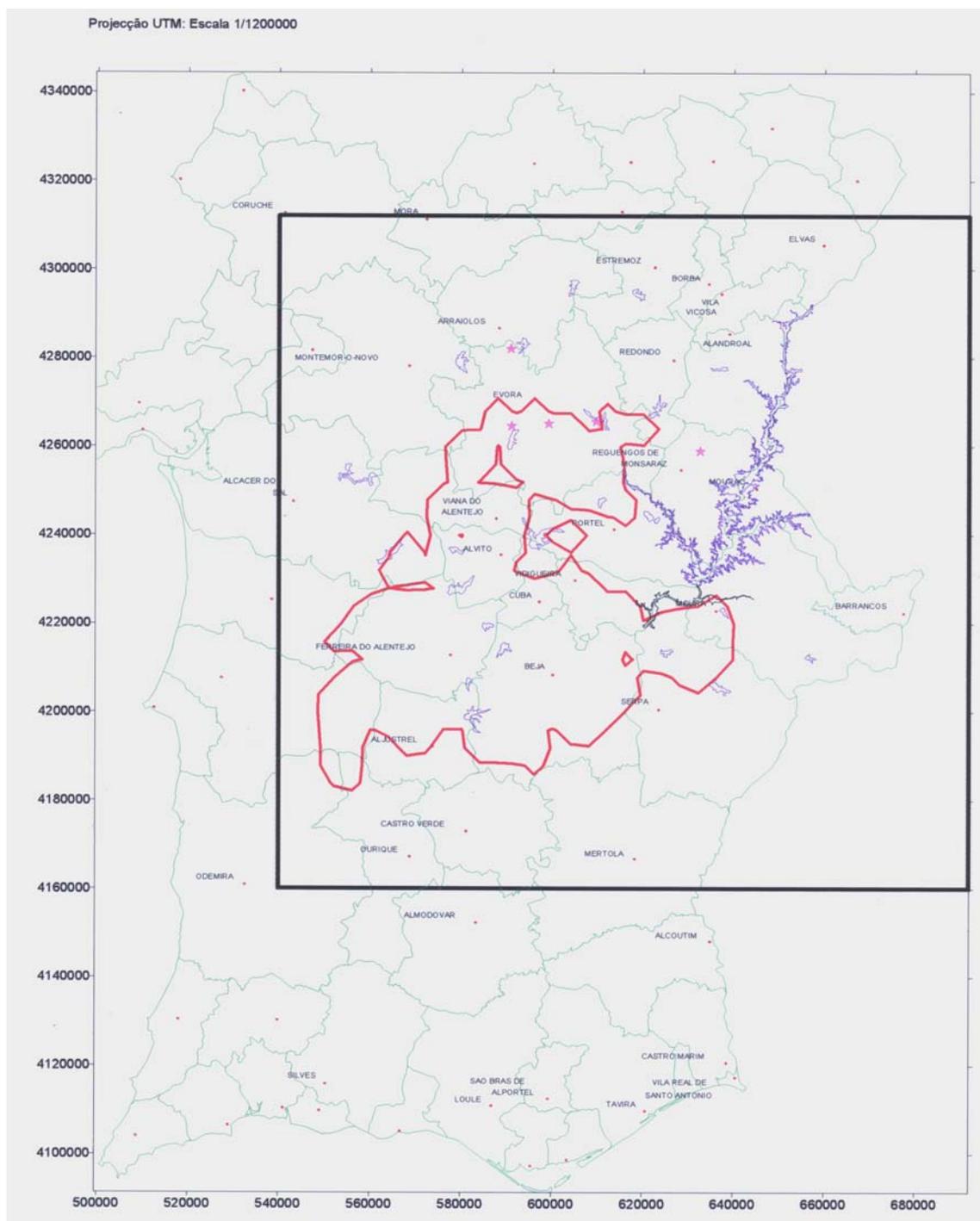


Figura 2.1– Localização do Empreendimento.

A azul – limites das barragens (existentes e a criar); Quadrado grosso – Domínio de modelação 3D.

A vermelho – limites da zona a irrigar.

Estrelas indicam localização aproximada das estações micrometeorológicas.



3. O Clima do Vale do Guadiana

Com vista a manter dentro de limites manejáveis a quantidade de gráficos a analisar, seleccionaram-se para o presente estudo três grupos de estações da rede climatológica do Alentejo:

a) um grupo constituído por todas as estações (21) e postos udométricos (130) do Alentejo, utilizado para a produção de algumas cartas representando a distribuição espacial de variáveis mais relevantes;

b) um grupo mais restrito de 9 a 11 estações climatológicas, localizadas no vale do Guadiana ou nas suas imediações, utilizado na análise da generalidade das variáveis climatológicas, incluindo o seu ciclo anual;

c) em certos casos, tomou-se um subconjunto do grupo b), constituído pelas estações consideradas mais representativas (Évora, Beja, Mértola e Amareleja).

Com os mesmos objectivos, optou-se ainda por colocar a maior parte da informação gráfica em Apêndice (Apêndice A), reservando para o corpo principal do texto um número restrito de gráficos e cartas mais representativos. A numeração atribuída às figuras dá conta dessa divisão.

O Quadro 3.1 apresenta as estações climatológicas utilizadas na análise do comportamento climático do vale do Guadiana, incluindo a sua localização e período de funcionamento. Omite-se a lista (muito mais extensa) de postos udométricos, utilizados no cálculo das cartas de precipitação.

Quadro 3. 1 - Estações Climatológicas do Alentejo

Número	Nome da Estação	Período	Latitude	Longitude	Altitude
183	Alvalade	1961-1990	37°57'N	08°24'W	61
174	Alcácer do Sal	1961-1990	38°23'N	08°31'W	51
250	Amareleja	1963-1990	38°13'N	07°13'W	192
562	Beja	1961-1990	38°01'N	07°52'W	246
223	Benavila	1961-1990	39°06'N	07°52'W	150
253	Contenda	1961-1990	38°03'N	07°04'W	450
235	Elvas	1961-1990	38°53'N	07°09'W	208
557	Évora	1961-1990	38°34'N	07°54'W	309
244	Évora/Currais	1961-1985	38°31'N	07°47'W	230
242	Évora/Mitra	1961-1987	38°32'N	08°01'W	200
177	Grândola	1966-1981	38°10'N	08°34'W	94
215	Marvão	1961-1982	39°24'N	07 23'W	865
263	Mértola/Vale Formoso	1961-1990	37 45'N	07 33'W	190
178	Monte Velho	1973-1986	38 04'N	08 48'W	17
226	Mora	1961-1990	38 56'N	08 10'W	110
175	Pinheiro da Cruz	1978-1990	38 16'N	08 44'W	52
571	Portalegre	1961-1990	39 17'N	07 25'W	597
542	Sines	1971-1990	37°57'N	08°53'W	15
247	Viana do Alentejo	1961-1990	38°20'N	08°03'W	202
229	Vila Fernando	1961-1990	38°55'N	07°19'W	360
188	Zambujeira	1967-1990	37°30'N	08°45'W	106

3.1. Classificação climática

É convencional sintetizar a caracterização climática de uma região com recurso a uma “classificação” qualitativa tomando como base o comportamento de um número reduzido de variáveis meteorológicas, nomeadamente a temperatura do ar, a precipitação e a humidade atmosférica. Utilizando os dados apresentados nas secções seguintes e no Apêndice A, o clima da bacia do Guadiana pode ser classificado como:

De acordo com a classificação climática de Köppen, que se refere à relação temperatura/precipitação (Azevedo, 1971), a região Alentejana é do tipo **Csa**, isto é clima temperado (mesotérmico) com Inverno chuvoso e Verão seco (mediterrânico) e quente, com excepção das zonas altas (como o Marvão) e da faixa costeira, onde é **Csb** (Verão pouco quente). Na verdade, o clima de Portugal continental é essencialmente Mediterrânico (Azevedo, 1980).

- Na classificação de Thornthwaite (1948): Mesotérmico húmido na zona elevada a norte da bacia; Mesotérmico sub-húmido húmido na região planáltica ocidental; Mesotérmico sub-húmido seco ao longo do vale, entre Reguengos de Monsaraz e Mértola; Mesotérmico semiárido, na região sudoeste da bacia e junto à fronteira;

- A classificação de Emberger, produz um mapa de certo modo semelhante ao anterior, com zonas de clima Mediterrâneo húmido com Inverno temperado a NW, de clima Mediterrâneo sub-húmido com Inverno temperado nos planaltos, de clima Mediterrâneo sub-húmido com Inverno fresco nas áreas baixas do sector ocidental e na região interior a norte, de clima Mediterrâneo semiárido com Inverno temperado na extremidade sul e de clima Mediterrâneo semiárido com Inverno fresco ao longo do vale e junto à fronteira.

- Do ponto de vista do conforto humano, o método de Terjung indica situações desfavoráveis devidas essencialmente à baixa temperatura nas manhãs de Inverno, baixa temperatura e excessiva humidade das manhãs de Primavera e Outono e alta temperatura e secura nas tardes de Verão.

Mais relevante que as classificações climáticas do ponto de vista do presente estudo é a caracterização quantitativa das diferentes variáveis climatológicas.

3.2. Temperatura do ar

As diferentes estações da região em estudo apresentam um ciclo anual médio da temperatura típico do clima mediterrâneo, com pequenas diferenças entre estações. Existem no entanto diferenças interanuais significativas, aparentemente correlacionadas com a pluviosidade. No Vale do Guadiana, a temperatura média anual é próxima dos 16°C (Figura A.1), variando as temperaturas médias mensais entre cerca de 9°C, em Janeiro, e 24°C em Julho. As médias das temperaturas máximas variam entre cerca de 12°C em Janeiro e cerca de 34°C em Julho, enquanto as médias das temperaturas mínimas variam entre cerca de 4°C em Janeiro e cerca de 17°C em Agosto. Estes valores referem-se à

normal climatológica (1961/90). A temperatura máxima absoluta teve, naquele período, um valor de cerca de 43°C e a mínima absoluta o valor de -7°C.

O ciclo anual da temperatura média diária encontra-se representado na Figura A.1. As diferenças entre estações são muito pouco significativas, só atingindo valores da ordem de 1°C. As temperaturas médias mais elevadas em Agosto encontram-se em Elvas, Mértola, Contenda e na Amareleja, estações localizadas na zona mais interior do Alentejo. As temperaturas médias mais baixas encontram-se, em Janeiro, nas estações da Amareleja, Elvas, Évora/Mitra e Évora/Currais.

O ciclo anual da amplitude térmica diária em todas as estações na bacia do Guadiana é muito semelhante ao apresentado na Figura A.2, para a Amareleja, Beja, Évora e Mértola. A amplitude térmica diária média (média das temperaturas máximas diárias - média das temperaturas mínimas diárias, para cada mês) é de cerca de 9°C em Dezembro e Janeiro e atinge valores da ordem dos 17°C em Julho e Agosto. Na mesma figura apresentam-se igualmente os valores extremos medidos no período em análise.

No que se refere à Temperatura do ar apresentam-se ainda, nas Figuras A.3 e A.4, respectivamente, o número médio de dias por mês em que a Temperatura mínima é inferior a 0°C e em que a Temperatura máxima é superior a 25°C. Esta informação é complementar da descrição do ciclo anual da amplitude térmica e dá conta das condições extremas do ponto vista térmico que podem ser esperadas (em média) e cujas consequências agrometeorológicas devem ser tomadas em consideração. Analisando a Figura A.3, observa-se uma significativa diferença entre as estações. Nas estações de Amareleja, Elvas e Évora/Currais e Amareleja a Temperatura mínima é inferior a 0°C em cerca de 13 dias por ano, enquanto que em Évora a mesma situação se verifica em menos de 2 dias por ano e em Beja somente em 3 dias por ano. Esses dias encontram-se distribuídos entre Novembro e Março com maior frequência nos meses de Dezembro a Fevereiro.

Finalmente, a Temperatura máxima atinge valores acima dos 25°C em cerca de um terço dos dias do ano e não se observam grandes diferenças de comportamento entre as 5

estações do Vale do Guadiana. Entre Junho e Setembro a Temperatura máxima encontra-se na maior parte dos casos acima daquele valor.

3.3. Humidade

A Humidade Relativa (U) apresenta também importantes variações diurna e anual, aproximadamente em oposição de fase com as da Temperatura. O seu valor médio anual às 9h anual (Figura A.5) está compreendido entre 70% e 77%, dependendo do local, atingindo às 18h anual (Figura A.6) valores entre 58% e 63%. Deve notar-se que a humidade relativa depende fortemente da temperatura (numa relação quase exponencial, se for constante a concentração de vapor de água). Assim, a humidade relativa durante a tarde e em dias quentes terá tendência a atingir valores mínimos.

O ciclos anual e diurno da Humidade Relativa podem ser deduzidos a partir da análise das Figuras A.5 e A.6. Elvas e Contenda representam claramente a zona mais seca da bacia com Humidade Relativa média às 9h de cerca de 70-71%, variando entre 85-83% em Janeiro e 54-55% em Julho. As restantes estações apresentam valores médios anuais da Humidade Relativa às 9h cerca de 10% mais elevados, o que é muito significativo em termos agrometeorológicos e não só, apresentando, no entanto, diferenças significativas em cada mês particular.

Os valores medidos às 18h apresentam um comportamento algo diferente, com os dois valores extremos observados na Amareleja, estação na qual a humidade relativa média às 18h varia entre 83% em Dezembro/Janeyiro e 31% em Julho/Agosto. Nas restantes estações o ciclo anual é menos pronunciado. Em Janeiro os valores médios observados encontram-se no intervalo 77-83% e em Julho no intervalo 31-46%.

A humidade é um parâmetro fundamental na avaliação do impacte ambiental do empreendimento do Alqueva não só porque se prevê um aumento substancial da água disponível para evaporação como pelo facto de o *deficit de saturação* ser determinante para o estabelecimento da produtividade agrícola em situações em que a disponibilidade de água

é um factor limitante. Em face dos valores de humidade relativa observados no Alentejo pode concluir-se, por um lado, a existência condições favoráveis à ocorrência de taxas elevadas de evaporação em toda a bacia e, por outro lado, uma grande variabilidade espacial desta variável.

Existem também significativas variações interanuais da Humidade Relativa com aparente correlação com a pluviosidade (cf Moreira 1986). A informação recolhida na rede climatológica não é suficiente para esclarecer totalmente as razões dessa variabilidade, dado que não existem medidas de evaporação real. No entanto, parece claro que uma grande parte da variabilidade observada está associada a variações do regime de circulação atmosférica, associados a processos diferenciados de transformação de massa de ar. Assim, o ar com trajecto continental tem tendência a ser mais seco que o ar com trajecto marítimo. A Figura A.7, obtida por análise estatística das observações diárias às 9h de humidade relativa e vento no período 1961/90, mostra a grande dependência da humidade relativa observada com a direcção do vento dominante, verificando-se que quase todas as estações consideradas apresentam valores de humidade relativa sistematicamente mais baixos quando a circulação é de Leste e sistematicamente mais altos na presença de ventos de Oeste, especialmente durante o Verão. A estação de Elvas apresenta, no entanto, um comportamento algo anómalo, indicando a importância de factores locais, neste caso provavelmente devidos à orografia existente a Norte da estação.

3.4. Vento

O regime da circulação atmosférica na bacia do Guadiana apresenta um ciclo anual significativo e uma igualmente significativa dependência espacial. A normal climatológica, representada na Figura A.8a-c, mostra a existência de um forte ciclo anual na direcção do vento na generalidade das estações, com intensificação da frequência de ocorrência de vento do quadrante NW durante o Verão. Durante o Verão (Figura 3.3, referente a Julho), observa-se uma relativa homogeneidade de comportamento entre as estações, sendo o regime caracterizado por maior frequência de ventos de NW (excepto em Beja e em Elvas). Os ventos neste quadrante estão muitas vezes associados à circulação de depressões de

origem térmica que caracterizam o estado de tempo na Península Ibérica durante o Verão e que integram massas de ar muito seco de origem continental. Em Beja, no entanto, observa-se uma maior probabilidade de ocorrência de ventos de W. Em Elvas, por sua vez, observa-se um regime de vento com um menor ciclo anual e predominância dos rumos NW e SW ao longo de todo o ano.

No Inverno (Figura 3.2, referente a Janeiro), observa-se menor preferência por direcções específicas e maior variabilidade espacial. Esse facto é consistente com a experiência sinóptica nesta época do ano, em que a passagem de massas de ar atlânticas, húmidas, com superfícies frontais, cujo deslocamento é normalmente no sentido W-E ou SW-NE é acompanhada por variações bruscas da direcção do vento e intercalada por períodos, mais ou menos prolongados, de circulação anticiclónica. No Norte da bacia (Elvas) existe predominância de ventos de NW e SW, sendo os ventos de SE ligeiramente mais frequentes nas zonas Oeste e Sul (Amareleja e Mértola). Em Évora/Currais não se observa nenhuma preferência direccional clara. Em Beja há maior frequência de ventos de W e SW.

A situação média anual (Figura 3.1) traduz uma ligeira preferência pelos ventos no quadrante NW/W, sem a anisotropia manifestada durante o período de Verão. A Figura 3.1 mostra igualmente a localização das estações climatológicas e postos udométricos.

É sabido que o regime de ventos é fortemente influenciado localmente pela orografia sendo de esperar uma significativa variabilidade espacial, para além do ciclo anual devido à alteração das condições sinópticas. Em particular merece referência o facto de a distribuição direccional média do vento em Elvas depender pouco da época do ano, contrariamente ao que se verifica em todas as outras estações, o que é consistente com a menor velocidade média observada e indicia a importância de influências puramente locais.

No que se refere à intensidade do vento, descrita na Figura A.9, observam-se diferenças muito significativas, variando as velocidades médias (ao nível do anemómetro) entre cerca de 7 e 9 km/h para a generalidade das estações, mas atingindo valores de mais de 11 km/h em Évora/Currais e de mais de 15 km/h em Beja e Évora. Estas duas estações

são as mais ventosas em toda a bacia. Valores mais elevados da velocidade do vento observam-se, no entanto, em outras estações do Alentejo fora da bacia (por exemplo, Portalegre e Sines, ver Figuras 3.1-3).

Finalmente, deve referir-se que a frequência de ocorrência de vento com velocidade superior a 36 km/h (Figura A.10), é relativamente baixa na generalidade das estações seleccionadas, atingindo excepcionalmente um valor mais elevado em Évora (17 dias/ano) seguido de Beja (11 dias/ano). Essa frequência é muito inferior nas outras estações. Deve notar-se que a estação de Évora se encontra localizada no interior da cidade, encontrando-se o seu anemómetro no alto de uma torre a um nível superior ao das restantes estações o que explica pelo menos uma parte das diferenças observadas.

3.5. Precipitação

No âmbito deste estudo é provavelmente mais relevante atender aos aspectos directamente relacionados com a componente hidrológica. Nesse contexto, dois problemas fundamentais devem ser considerados: as distribuições da precipitação e da evaporação.

Em média, a precipitação anual na bacia do Guadiana varia entre cerca de 400 mm (a Sul de Beja) e cerca de 700 mm (no flanco Norte). Por outro lado, a região caracteriza-se por uma elevada variabilidade interanual no que se refere a esta variável, com valores da precipitação a variarem por mais de um factor de dois entre um ano seco e um ano húmido típicos, e mais do que isso entre anos muito húmidos e anos de seca. A distribuição geográfica e distribuição mensal da precipitação também apresentam variações interanuais significativas.

A distribuição espacial da precipitação é observada numa rede que inclui, para além das estações climatológicas, um número muito maior de Postos Udométricos. A densidade da rede não é, no entanto, suficiente para representar toda a estrutura do campo da precipitação, que depende de forma crítica de factores locais, em particular da altitude e da posição relativa à orografia (a montante ou a jusante do vento). A Figura 3.1 apresenta a

distribuição média da precipitação total anual em todas as estações e postos udométricos do Alentejo, referentes à Normal Climatológica (1961/90). Valores relativamente baixos (da ordem dos 500 a 600 mm anuais) são observados na bacia do Guadiana, incluindo a área a inundar pelo empreendimento do Alqueva, e valores ainda mais baixos (inferiores a 500 m) na zona do Vale a Sul do Alqueva.

As Figuras 3.2 e 3.3 referem-se, respectivamente, às precipitações acumuladas durante o “Inverno” (Dezembro, Janeiro e Fevereiro) e o “Verão” (Junho, Julho e Agosto) meteorológicos. Como é típico em clima mediterrânico os valores observados são extremamente baixos durante o Verão em toda a região, da ordem de 30mm, sendo a contribuição dos meses de Julho e Agosto praticamente nula.

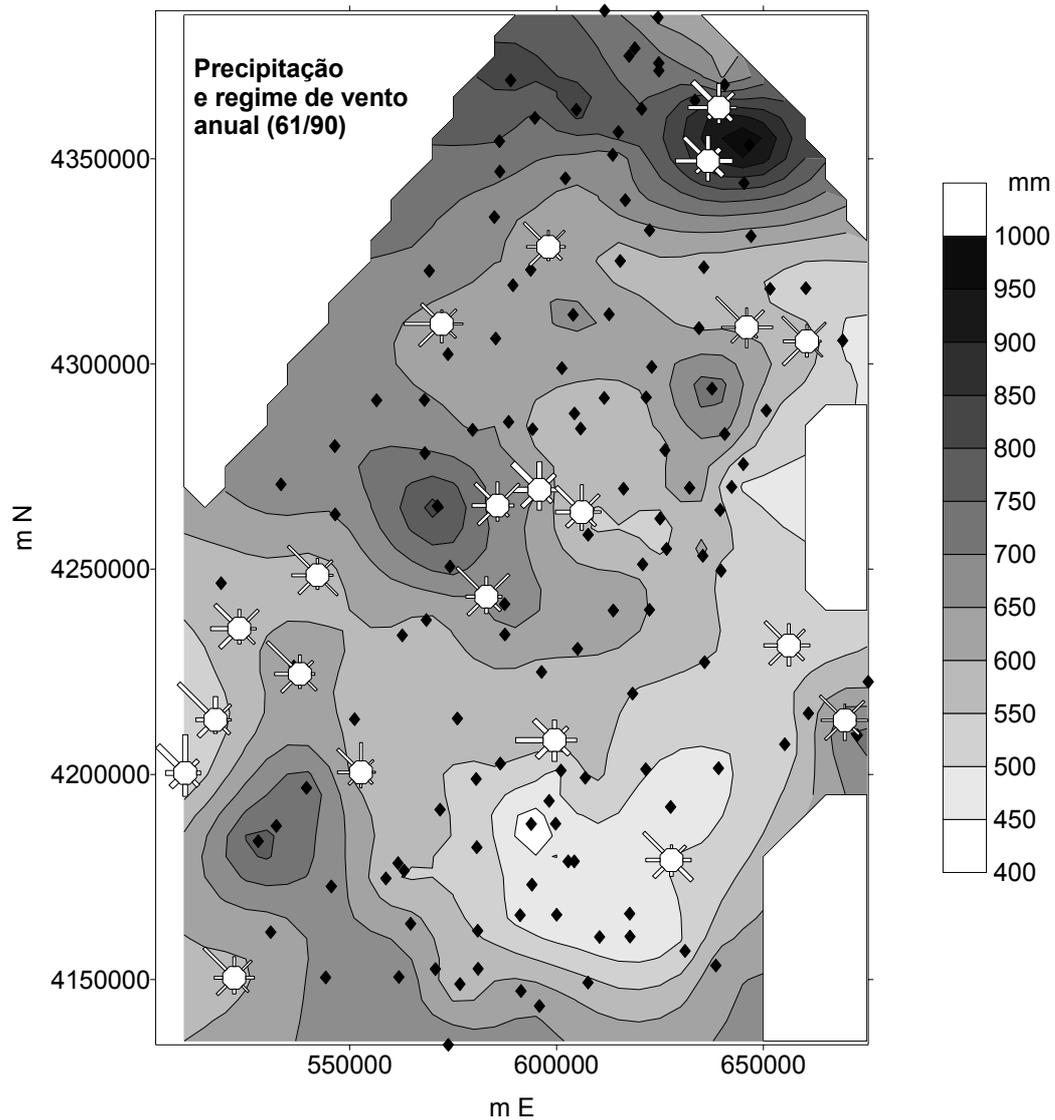


Figura 3. 1 - Valores médios anuais da precipitação acumulada (mm) e regime de vento (1961/90). Nas rosas de vento o comprimento dos segmentos indica a frequência de ocorrência desse rumo e a largura a velocidade média. Os triângulos indicam a localização da rede udométrica. Projecção UTM.

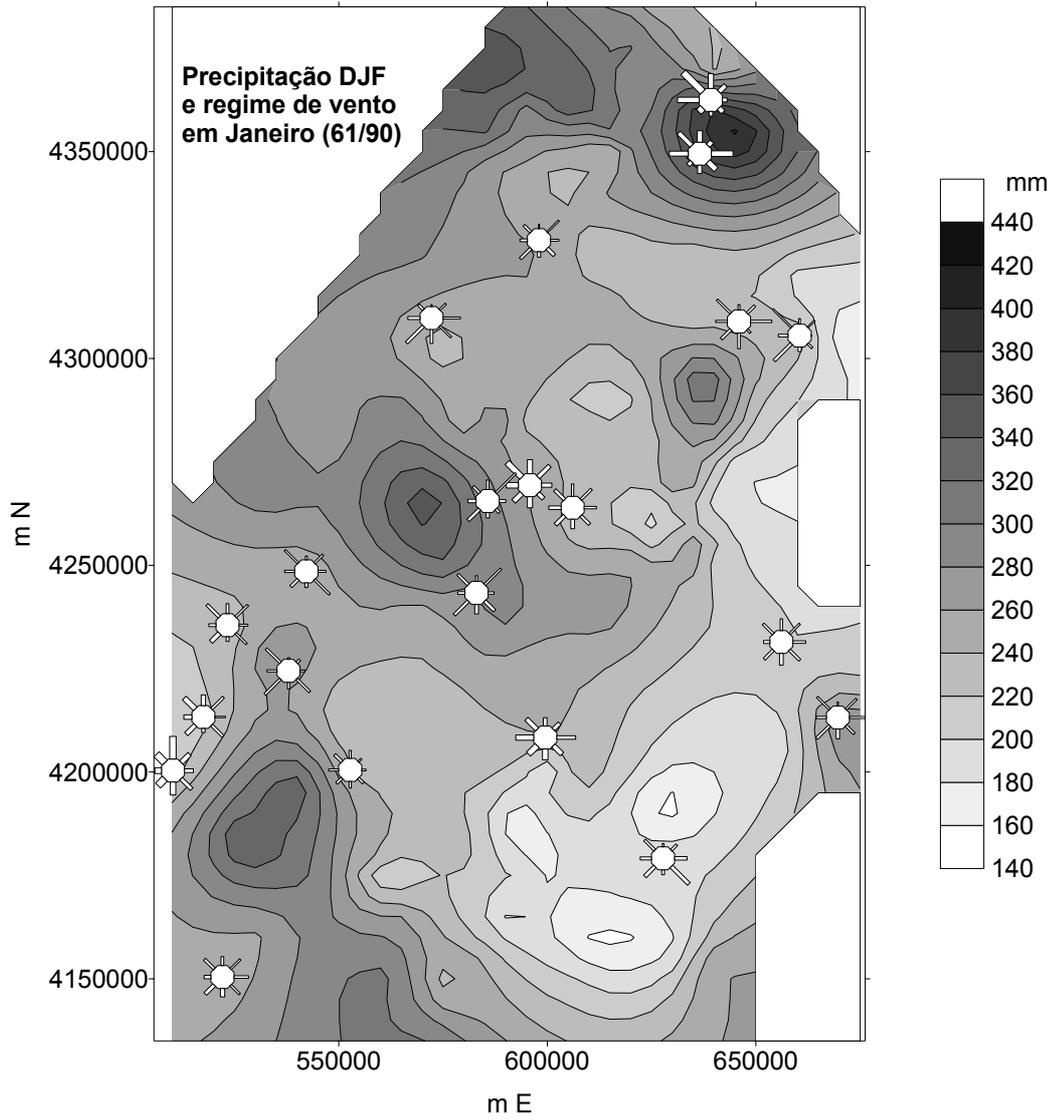


Figura 3. 2 - Como a Figura 1 mas para a precipitação acumulada em Dezembro-Janeiro-Fevereiro e regime de vento em Janeiro

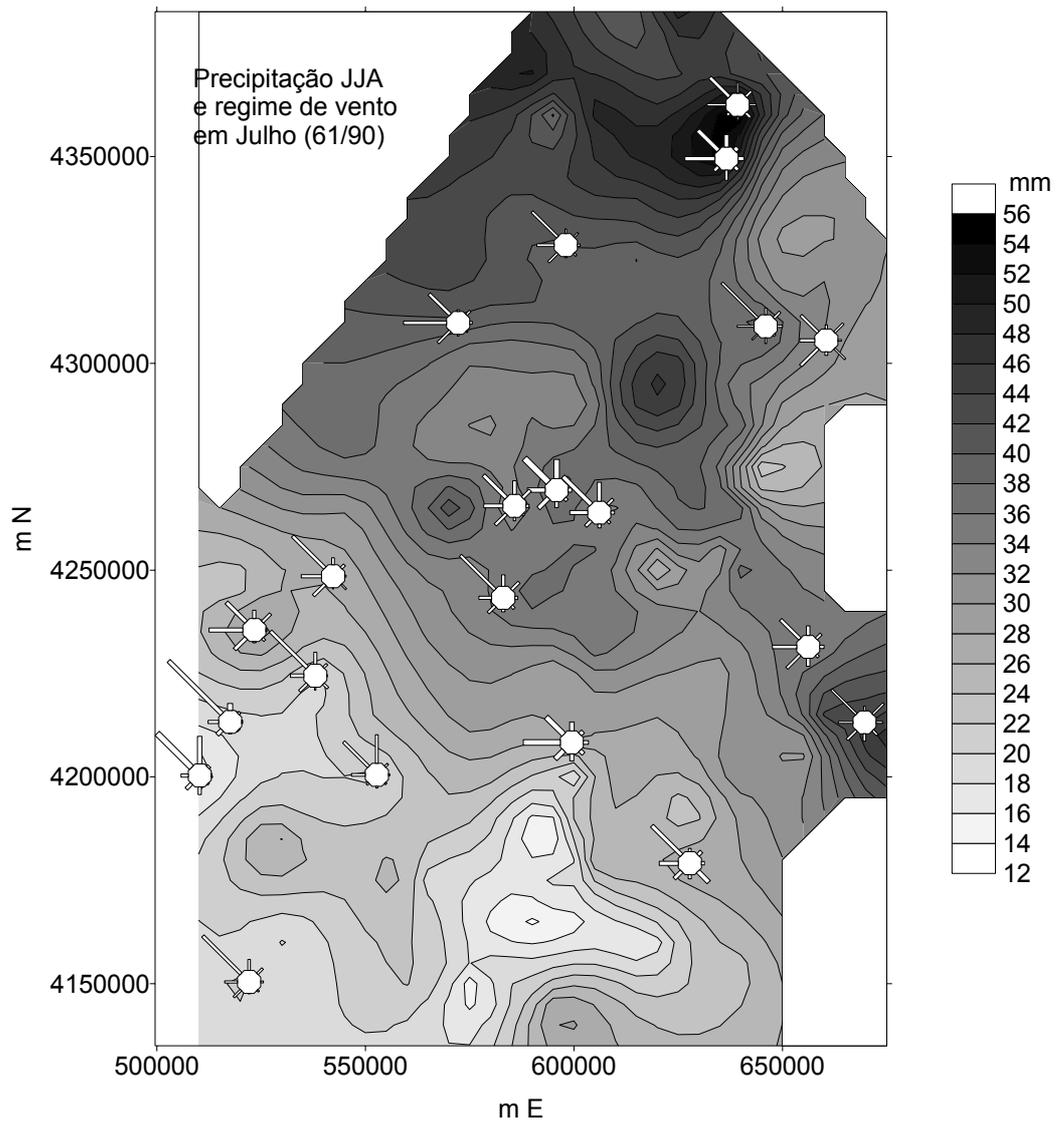


Figura 3.3 - Como a Figura 1 mas para a precipitação acumulada em Junho-Julho-Agosto e regime de vento em Julho

O ciclo anual da precipitação é apresentado na Figura A.11, onde se apresenta a precipitação mensal média em 9 estações da bacia. A Figura A.25 apresenta os totais anuais. A maior parte da precipitação ocorre entre Outubro e Abril, sendo os meses de Julho e Agosto extremamente secos.

O regime de precipitação na bacia do Guadiana pode ainda ser analisado do ponto de vista da frequência de ocorrência de chuva intensa. Na Figura A.12 indicam-se os valores médios anuais do número de dias em que a precipitação acumulada é superior a 0.1 mm, 1 mm e 10 mm, respectivamente nas estações de Amareleja, Beja, Évora e Mértola. As situações de chuva intensa ($R > 10$ mm) ocorrem em cerca de 20 dias por ano e correspondem, em geral, à passagem de superfícies frontais ou de depressões activas no Sul do país. As diferenças entre estações são consistentes com as observadas na precipitação anual. A distribuição anual da intensidade de precipitação é, no entanto, bastante semelhante entre as diferentes estações, devido ao carácter sinóptico (isto é, de larga escala) dos fenómenos que dão origem à ocorrência de precipitação nesta zona.

3.5.1 - Variabilidade interanual

A precipitação é, em geral, um parâmetro susceptível de grande variabilidade interanual. Essa variabilidade deve-se fundamentalmente a modificações interanuais da circulação atmosférica de larga escala, não totalmente compreendidas, que levam nomeadamente a alterações significativas da posição da frente polar e da frequência de ocorrência de situações de bloqueio, com implicações no trajecto das depressões baroclínicas que atingem a Europa entre o Outono e a Primavera. Dada a relativa secura da região Sul da Península Ibérica, a variabilidade interanual da precipitação pode dar origem a situações graves de falta de água em anos secos, com consequências para agricultura da região.

É bem sabido que a distribuição interanual da precipitação mensal não segue uma distribuição gaussiana e, por esse motivo, não é apropriado analisar a sua variabilidade a

partir dos valores dos primeiros momentos da distribuição (i.e. da média e da variância). Em vez disso é preferível recorrer ao estudo dos percentis dessa distribuição. A Figura 3.4a,b mostra o ciclo anual dos quintis da precipitação em Évora e Beja, calculadas a partir dos valores médios mensais em quase todo o período de funcionamento simultâneo dessas duas estações (1901-1990). A Figura A.13a,b,c apresenta informação equivalente para todas as estações seleccionadas, mas agora para o período 1961/90. Da análise dessas figuras conclui-se facilmente que a mediana (Percentil 50) e a Média (Figura A.11) assumem valores significativamente diferentes, sendo a média sistematicamente superior à mediana, indicando que o número de anos secos, definidos com base na média, é superior ao número de anos húmidos, sendo a precipitação nestes últimos anormalmente elevada.

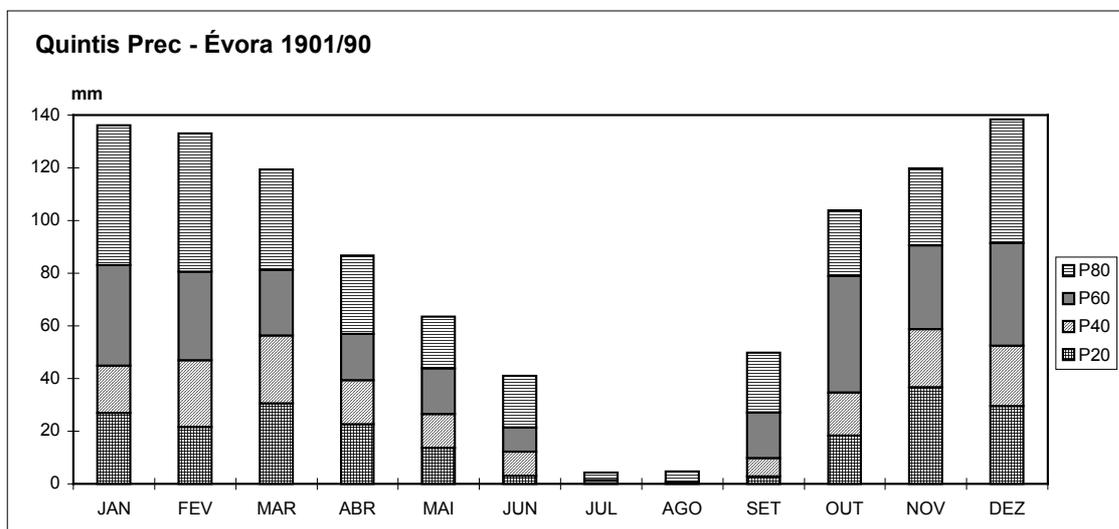


Figura 3. 4 - Quintis da Precipitação média mensal em Évora (1901/1990)

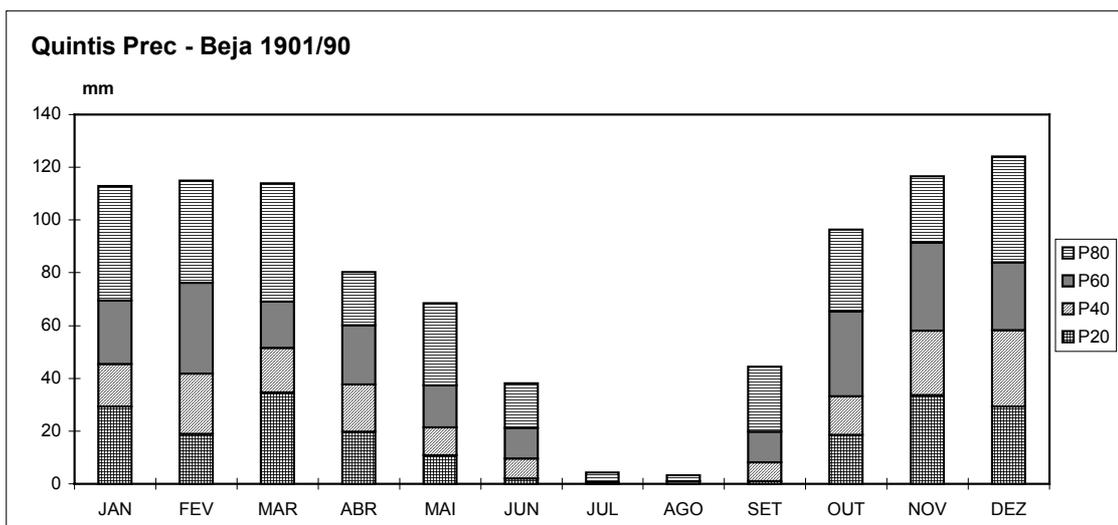


Figura 3. 5 - Quintis da Precipitação média mensal em Beja (1901/1990)

Quando se analisam anos secos e anos húmidos particulares (cf. Murteira 1986) conclui-se que a grande variabilidade interanual desta variável está associada a uma igualmente importante variabilidade espacial, verificando-se padrões anómalos de distribuição espacial da precipitação em anos em que o valor total acumulado se afasta significativamente da média climatológica.

Na secção 3.12 voltar-se-á ao problema da variabilidade interanual, no quadro da análise de variações a muito longo prazo (dezenas de anos).

3.6. Evaporação

3.6.1. Evaporação Potencial medida pelo Evaporímetro de Piche

A evaporação, isto é a transferência de vapor de água do globo para a atmosfera, não é, em geral, observada. A evaporação real depende de factores locais, muitos dos quais não são estritamente meteorológicos (por exemplo: cobertura do solo, seu conteúdo em água e temperatura) e também da situação atmosférica (vento, humidade e temperatura do ar, nomeadamente). Por diversos motivos é impossível construir um instrumento que forneça um valor da evaporação real verdadeiramente representativo de uma dada região. Em vez disso, a rede climatológica procede à medição de uma grandeza relacionada com a evaporação e que se pode designar por evaporação potencial. A evaporação potencial é o valor da evaporação medida a partir de um recipiente permanentemente com água e, portanto, representa, num certo sentido, o valor máximo possível da evaporação nas mesmas condições meteorológicas.

A rede climatológica Nacional utiliza evaporímetros de Piche para avaliar a evaporação potencial. Existem, no entanto, observações localizadas com evaporímetros de Tina de tipo A. Os valores medidos pelos dois tipos de instrumentos apresentam infelizmente diferenças sistemáticas, levantando alguns problemas à utilização dos valores observados no cálculo da evaporação real a esperar em dadas condições. Dado que a “conversão” dos valores da evaporação medida por evaporímetros de Piche em valores correspondentes de tinas envolve a utilização de fórmulas empíricas (cuja justificação não é absolutamente incontroversa), optou-se por apresentar os valores da evaporação de Piche tal como são medidos, deixando para o capítulo referente à análise de impactes a discussão desses valores em termos de conclusões em relação à evaporação real.

A evaporação média anual na bacia do Guadiana, medida por evaporímetros de Piche, varia entre cerca de 1600 mm (Beja) e 2000 mm (Elvas) (cf Figura A.27). Em todos os casos, a evaporação (de Piche) anual é claramente superior à precipitação (por um factor de 3 ou 4). Em relação aos valores mensais, só alguns dos meses de Inverno e,

eventualmente, do princípio da Primavera (dependendo da localização) apresentam valores da precipitação superiores à evaporação.

O ciclo anual médio da evaporação de Piche está representado na Figura A.14. A maior parte da evaporação ocorre naturalmente nos meses mais quentes e secos, verificando-se que a evolução dos valores mensais acompanha o ciclo anual da radiação disponível à superfície, apresentando uma estrutura semelhante à dos valores correspondentes da temperatura média do ar.

Tal como a precipitação, a evaporação também apresenta uma grande variabilidade interanual. Tal como seria de esperar, a evaporação total em anos secos é consistentemente superior ao seu valor em anos húmidos. Por outro lado, a variabilidade temporal está associada a uma variabilidade espacial de igual importância (cf Murteira 1986).

3.6.2. Evapotranspiração

Quando o solo se encontra coberto de vegetação, as perdas de água para a atmosfera dão-se em grande parte através das próprias plantas e são fortemente influenciadas não só pela disponibilidade de água líquida como pela fisiologia das plantas. No sistema solo-planta-atmosfera, a evaporação directa da água do solo e a transpiração das plantas, para a atmosfera, é geralmente designada por evapotranspiração. A evapotranspiração potencial (ETP) ou evapotranspiração de referência é a taxa máxima de evaporação que ocorre em áreas extensas, completamente cobertas por uma vegetação uniforme, de pequeno porte e em pleno crescimento não limitado pelas disponibilidades hídricas do solo (Brutsaert, 1984; Shuttleworth, 1979). Assim, a ETP é essencialmente um elemento meteorológico complexo que caracteriza um dado local em termos da procura atmosférica para a água.

A evapotranspiração potencial pode ser medida nas condições descritas, ou estimada a partir de equações mais expeditas e com recurso a dados meteorológicos. Infelizmente, esta variável não é medida na rede climatológica portuguesa, dado o elevado

custo de instalação e manutenção do sistema. É possível, no entanto, proceder a uma estimativa da Evapotranspiração potencial recorrendo a fórmulas empíricas que utilizam os dados climatológicos disponíveis na rede de observações. Existem diversas fórmulas propostas na literatura mas é geralmente aceite que a fórmula de Penman produz os resultados mais fiáveis para aplicações climatológicas.

3.6.2.1. Evapotranspiração potencial de Penman

No caso de informação meteorológica e micrometeorológica limitada apenas a um nível de medição, o método de cálculo de ETP largamente utilizado e aceite como mais representativo, nomeadamente para regiões com características semi-áridas, é o de Penman (Brutsaert, 1984; Doorenbos & Pruitt, 1977; Doorenbos e Kassan, 1979; Shuttleworth, 1979), sendo mesmo recomendado por organizações internacionais como a FAO. A equação de Penman (1948) é do tipo

$$ETP = \frac{\Delta}{\Delta + \gamma}(Rn - G) + \frac{\gamma}{\Delta + \gamma}D \cdot f(v) \quad (1)$$

onde ETP é a taxa de evapotranspiração potencial durante o período de tempo t , $\Delta = \frac{de_s(T)}{dT}$ sendo $e_s(T)$ a tensão de saturação do vapor de água à temperatura média T do ar durante t , γ é a constante psicrométrica, Rn é a radiação líquida durante t resultante do balanço de radiação da superfície em estudo, G é o fluxo de energia no solo durante t , D é défice médio de saturação da atmosfera ($= e_s(T) - e$, sendo e a tensão real de vapor da atmosfera) durante t e $f(v)$ é uma função empírica da velocidade média do vento (v) durante t , medida a 2 m de altura. Dado que o período de tempo t corresponde normalmente a 1 dia, 10 dias, ou 1 mês, ETP tem unidades de mm/d, mm/10 d ou mm/mês, respectivamente.

Esta equação tem sido objecto de numerosas aproximações teóricas e práticas (Brutsaert, 1984; Shuttleworth, 1979). As aproximações teóricas têm incidido sobre a quantificação do termo $f(v)$, que fisicamente representa um coeficiente de transporte

turbulento, e que na aproximação de Penman-Monteith é expresso através do inverso duma resistência aerodinâmica (Monteith & Unsworth, 1990). Contudo, Brutsaert (1984) reconhece que a utilização de funções empíricas para o cálculo de $f(v)$ é adequada quando se pretendem estimar valores médios de ETP para períodos iguais ou superiores a 1 dia.

Das aproximações práticas, Doorenbos & Pruitt (1977) sugerem que o valor de ETP obtido a partir da equação (1) deva ser corrigido para as diferentes condições de radiação, humidade e vento durante o dia e a noite, por a evaporação ocorrer essencialmente durante o dia. Contudo, esta correcção não é possível com base na informação disponível na maioria das estações da rede nacional.

No presente trabalho utiliza-se a equação de Penman para o cálculo dos valores mensais de ETP para vários locais a Sul do Tejo com informação meteorológica no período de 1961/90. Dado que na totalidade dos locais não existem valores de R_n disponíveis, este é calculado segundo a formulação sugerida por Doorenbos & Pruitt (1977). Contudo, a radiação solar global (R_s) é estimada a partir da insolação relativa (n/N) através da expressão

$$R_s = (0.18 + 0.62 n/N) R_{sa}$$

onde R_{sa} é a radiação solar no topo da atmosfera e os coeficientes 0.18 e 0.62 são aplicáveis às condições de Portugal Continental. Para as estações sem insolação medida foi utilizado o valor médio de R_s , dado a radiação ter carácter regional. Além disso, considera-se que um albedo de 20% é característico de culturas e vegetação de baixo porte (Brutsaert, 1984; Monteith & Unsworth, 1990). O fluxo de energia no solo durante o mês é considerado como nulo, isto é, a energia que solo armazena durante o dia é igual à que ele perde durante a noite, o que é uma aproximação razoável para períodos de tempo múltiplos inteiros de 24 horas. A $f(v)$ utilizada é também a sugerida por Doorenbos & Pruitt (1977).

Os resultados de ETP obtidos para 21 locais a partir das normais climatológicas do período 1961/90 são apresentados no Quadro A.1. Verifica-se que a evapotranspiração anual é da ordem dos 1400-1450 mm em torno de Portalegre, Évora e Beja, decrescendo rapidamente para o litoral e Bacia do Sado, onde atinge valores da ordem dos 1100 mm, e mais lentamente para a Bacia do Guadiana (1200-1300 mm). A ETP mensal é da ordem dos 15-30 mm em Dezembro e Janeiro, aumenta para cerca de 100 mm em Abril e mais de 200 mm em Julho e Agosto, diminuindo depois para cerca de 80-100 mm em Outubro.

Para 11 estações na previsível futura área de influência do Alqueva foram calculados mês a mês, para cada um dos anos do período 1961/90, os valores de ETP (Quadro A.2), de forma a ser possível analisar estatisticamente a sua distribuição. A ETP mensal neste período segue uma distribuição idêntica à de Gauss. Além disso, o Quadro A.1 permite verificar que os coeficientes de variação da ETP mensal são relativamente pequenos, da ordem dos 10% nos meses de Verão e 20-30% nos de Inverno. Estes valores médios mensais são muito idênticos aos valores mensais de ETP obtidos a partir das normais climatológicas. A Figura A.15a,b apresenta uma parte dos dados do quadro A.2, correspondentes a 8 estações próximas do Vale do Guadiana.

3.6.3 Evapotranspiração real e balanço hídrico

À medida que o solo seca, a evapotranspiração que realmente ocorre (ETR) é rapidamente limitada pela falta de água disponível, diminuindo cada vez mais relativamente à ETP e afectando o crescimento vegetal (Powell, 1994). Esta evapotranspiração é uma medida da transferência real de vapor de água do solo-planta para humedificação da atmosfera; por isso, depende das características do solo e seu teor em água, da maior ou menor facilidade com que as plantas desenvolvem o seu sistema radicular e conseguem extrair água do solo, e das condições atmosféricas, por intermédio da evapotranspiração potencial.

O fluxo real de vapor de água entre a superfície e a atmosfera pode ser (dificilmente) medido ou (mais facilmente) estimado (Brutsaert, 1984; Shuttleworth, 1979). A equação (1), na forma modificada por Monteith (1965) e discutida por Brutsaert (1984) e Monteith & Unsworth (1990) pode ser utilizada para calcular a ETR. Para isso é necessário conhecer a resistência estomatal global do coberto vegetal, que é função da resistência estomatal de cada folha e do índice de área foliar. Esta resistência depende do tipo de vegetação e não é suficientemente conhecida para que a equação de Penman-Monteith possa ser geralmente aplicada na previsão da ETR (Brutsaert, 1984).

No presente trabalho, a ETR mensal foi calculada a partir do balanço hídrico mensal do solo supostamente não irrigado e coberto com vegetação, predominantemente de pequeno porte, e com recurso à equação:

$$R = ETR + S + dA \quad , \quad ETR \leq ETP \quad (2)$$

onde R é a precipitação mensal, S é o escoamento mensal e dA é a variação durante o mês do teor de água no solo utilizável pelas plantas (Doorenbos & Kassam, 1979; Powell, 1994). Para a realização do balanço hídrico em termos climáticos admitiu-se que:

1) Numa perspectiva climática, a taxa máxima de evapotranspiração (ETM) numa unidade solo-vegetação é igual à ETP de Penman.

A realidade mostra não ser exactamente assim. À medida que a *superfície* dum solo seca, diminui a evaporação directa do solo e aumenta a proporção de água transpirada pelas plantas (Powell, 1994). Quanto maior (e mais activo) for o desenvolvimento vegetal (índice de área foliar, resistência ao fluxo hídrico, etc.) maior será a taxa de transpiração. Na prática da irrigação, este efeito é geralmente contabilizado através de um coeficiente cultural, $K_c = ETM / ETP$, que varia ao longo do ciclo de desenvolvimento das plantas. Quando a fracção de terreno coberta pela vegetação é grande (80 a 90% de radiação interceptada) e esta se encontra em pleno crescimento, então $K_c > 1$ e $ETM > ETP$ (Doorenbos & Kassam, 1979); por outro lado, nas fases inicial e final do ciclo vegetativo $K_c < 1$ ($ETM < ETP$).

A natureza climática deste estudo e a previsível diversidade de vegetação e de sistemas de exploração agrária na região levou-nos a estabelecer $K_c = 1$ em todos os meses. É de esperar, por isso, que os valores de ETP nos balanços hídricos não exprimam com rigor as necessidades hídricas máximas numa cultura específica, denotando um defeito de cerca de 10 a 20% nos meses de maior crescimento e um excesso que pode atingir os 100% nos restantes meses do ciclo vegetativo. Contudo, quando integrado sobre todo o ciclo de culturas de médio porte (milho, sorgo, girassol, trigo, etc.) o valor da ETP de Penman é, em média, apenas cerca de 20% superior ao de ETM (Doorenbos & Kassam, 1979), e esta diferença torna-se ainda menor no caso de prados e pastagens.

2) No seguimento das considerações anteriores, o crescimento vegetativo é afectado quando $ETR < ETP$, pelo que a diferença $ETP-ETR$ representa a deficiência hídrica (D) que é necessário compensar para permitir o crescimento potencial.

3) O solo funciona como um reservatório de água com determinada capacidade. O valor *máximo* (U ou $A_{m\acute{a}x}$) da reserva de água no solo *utilizável* pelas plantas é:

$$A_{\max} = \int_0^p (w_{2\max} - w_0) dz$$

onde p é a profundidade efectiva do sistema radicular, $w_{2máx}$ e w_0 são os teores de água no solo (em mm de água/m de solo) correspondentes, respectivamente, à capacidade de campo e ao coeficiente de emurchecimento permanente, e z é a profundidade no solo. Em cada instante, a reserva de água *útil* do solo (A) é a diferença integrada entre o teor actual de água no solo e w_0 . Assim, a gama de variação de A é $0 \leq A \leq A_{max}$. O valor de A aumenta ($dA > 0$) quando num dado período de tempo a precipitação R excede a ETP, mas se o valor de A_{max} for ultrapassado, a água em excesso é escoada para fora do sistema, constituindo S ; por outro lado, o valor de A diminui ($dA < 0$) quando $R < ETP$.

4) A utilização da reserva de água do solo (quando $R < ETP$) para satisfação das necessidades hídricas das plantas é controlada pela condutividade hidráulica solo pela atmosfera (ETP) e pelas plantas (densidade e profundidade do sistema radicular e eficiência de extracção de água). Para a prática da irrigação, em que o balanço hídrico é frequentemente verificado, considera-se que enquanto o solo está húmido ($A \geq A_{max}/2$), a sua condutividade hidráulica e a intercepção e extracção de água pelo sistema radicular permitem que $ETR \geq ETP$, pelo que $D \leq 0$ (Doorenbos & Kassam, 1979; Powell, 1994). Neste estudo, em que o período de cálculo é mensal, utilizou-se uma versão da aproximação sugerida por Thorthwaite & Mather (1957) e seguida por Passioura (1983) e Monteith (1986) que consideram que a água disponível no solo decresce exponencialmente com o decorrer do tempo e com o aumento da procura atmosférica para a água não satisfeita pela precipitação. Assim, utiliza-se

$$A = A_{max} e^{-\int_0^{\tau} \frac{ETP-R}{A_{max}} dt} \quad \text{para } (R - ETP) < 0$$

sendo τ o período de um mês. De facto, em condições de ETP elevado, como ocorre no Sul de Portugal principalmente no semestre quente, a deficiência hídrica instala-se rapidamente, mesmo em solo húmido, devido ao desfasamento entre o desenvolvimento radicular para extracção de água e a procura atmosférica para a água, pelo que ETR/ETP se torna rapidamente inferior à unidade (Powell, 1994). A aproximação

exponencial, além de empiricamente justificada (Doorenbos & Kassam, 1979; Passioura, 1983), acomoda este efeito.

3.6.3.1 Evapotranspiração real e deficiência hídrica

Para dar uma perspectiva geral da distribuição de ETR na região Alentejana, calcularam-se os valores de ETR a partir dos balanços hídricos das 21 estações com normais climatológicas anteriormente referidas. Para que a zonagem de ETR não fosse complicada pela zonagem dos diferentes tipos de solo na região, considerou-se um solo médio idêntico para todos os locais e com um valor de A_{\max} de 150 mm/m estimado a partir de dados publicados por Cardoso (1965).

Os valores de ETR assim obtidos são da ordem dos 500 mm anuais na faixa costeira e Bacia do Sado, e aumentam ligeiramente para 550-600 mm no interior, com excepção da margem esquerda do Guadiana onde voltam a ser cerca de 500 mm e de Portalegre e Marvão com cerca de 700 mm. Em geral, os valores mensais de ETR são cerca de 40 a 50% dos de ETP e vêm referidos no Quadro A.1. A deficiência hídrica anual corresponde a cerca de 50 a 60% da ETP.

Em termos de variação mensal (Quadro A.1), os maiores valores de ETR (70 a 100 mm) ocorrem em geral nos três primeiros meses do período seco (Março, Abril e Maio ou Abril, Maio e Junho), altura em que não são limitados por uma ETP baixa e ainda existe água no solo. Os maiores valores da deficiência hídrica ocorrem em Junho, Julho, Agosto e Setembro, chegando a ultrapassar 200 mm mensais.

Os valores de ETR assim calculados têm não só o inconveniente de se referirem a um “solo médio”, mas também o de se basearem na precipitação média mensal. A precipitação mensal tem uma distribuição estatística não gaussiana, sendo o valor médio das normais climatológicas superior ao da mediana (veja-se o ponto 3.5). Este problema pode ser torneado com recurso às probabilidades de ocorrência da precipitação mensal acima ou abaixo de determinado valor. É frequente considerar, em

termos agronómicos, que a ocorrência em 80% dos anos de situações favoráveis é uma garantia de viabilidade. Daí que o 2º e 8º decis da precipitação tenham um significado importante neste contexto.

Assim, para as 11 estações da zona de intervenção do Alqueva, calcularam-se os balanços hídricos e estimaram-se os valores de ETR para o 2º e 8º decis da precipitação, tendo também em conta os valores de A_{max} de cada tipo de solo característico do local - estimados a partir de dados publicados por Cardoso (1965). Os balanços hídricos do 2º e 8º decis da precipitação correspondem, respectivamente, à situação hídrica mais desfavorável e à mais favorável em 80% dos anos e estão representados nos Quadros A.3 e A.4, juntamente com os valores de A_{max} estimados para cada local. Para o 2º decil os valores de ETR só cobrem cerca de 15% do valor anual das necessidades hídricas potenciais; a deficiência hídrica ultrapassa os 1000 mm em quase todos os locais, sendo importante praticamente de Março a Outubro, o período de maior desenvolvimento vegetativo. Mesmo para o 8º decil, a ETR só cobre cerca de 50 a 55% da ETP anual, com excepção dos litossolos de Mértola onde só corresponde a aproximadamente a 40% de ETP; a deficiência hídrica anual é da ordem dos 500 a 700 mm na maioria dos locais, sendo de cerca de 800 mm em Mértola, e ocorre principalmente de Junho a Setembro, chegando a ultrapassar os 200 mm mensais em alguns locais.

Os balanços hídricos de Évora, Beja e Amareleja, para o 2º e 8º decis de precipitação, são apresentados nas Figuras 3.6 e A.17, permitindo visualizar a grande deficiência hídrica na região do Alqueva. Sabendo-se que a deficiência hídrica equivale a deficiência de desenvolvimento e produção vegetais, é notória a importância decisiva que a melhoria das condições hídricas tem para a garantia de uma actividade agrícola rentável.

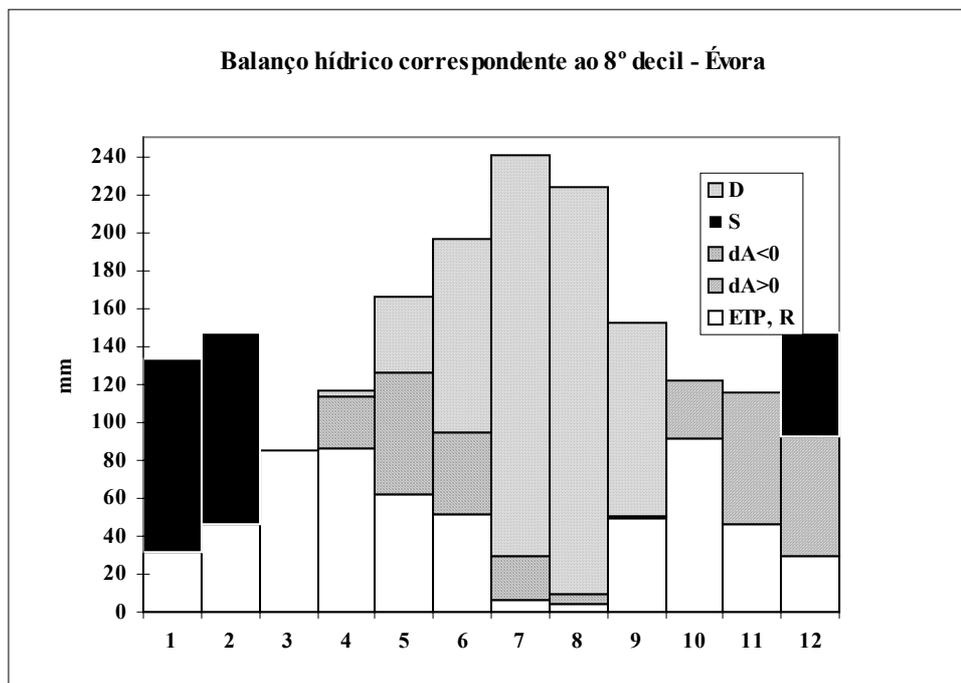
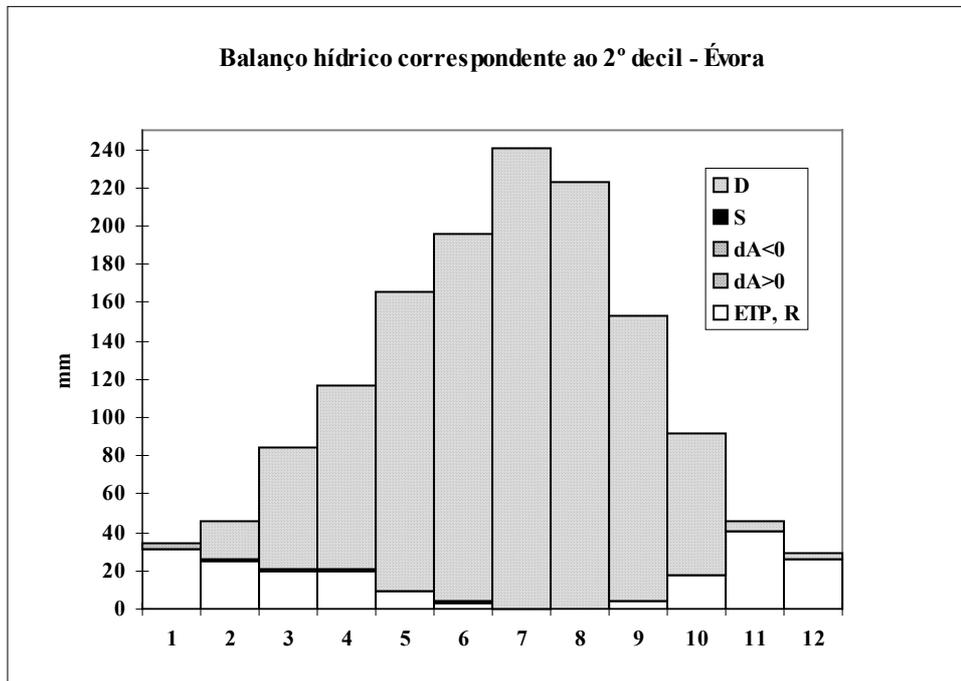


Figura 3.6a,b Balanco Hídrico em Évora (1961/1990)

3.7. Nebulosidade

O ciclo anual da nebulosidade nas estações da bacia do Guadiana encontra-se representado nas Figuras A.18 e A.19, referentes aos valores médios às 9h e às 18h, na normal climatológica 1961/90. A variação anual não apresenta nenhuma surpresa, com um máximo de nebulosidade em Janeiro e Fevereiro e um mínimo em Julho e Agosto. Dado o carácter desta variável, que resulta de uma avaliação visual do céu por um observador, é difícil atribuir um significado preciso às diferenças entre as diferentes estações climatológicas.

Uma informação complementar é fornecida pela Figura A.20, onde se apresenta a frequência de dias de céu pouco e muito nublado ($N \geq 2/10$ e $N \geq 8/10$, respectivamente), nas estações de Amareleja, Beja, Évora e Mértola. Beja apresenta a menor frequência de dias de céu muito nublado.

3.8 - Insolação

Uma variável directamente associada com a Nebulosidade é a Insolação. Enquanto que a Nebulosidade corresponde a uma situação "instantânea" do céu, a Insolação mede (de forma grosseira) o número de horas de Sol descoberto por dia, dando uma indicação semi-quantitativa da intensidade da radiação solar disponível. Os valores médios mensais da Insolação nas estações de Elvas, Beja e Mértola/Vale Formoso, estão indicados na Figura A.21. O número total de horas de Sol é de cerca de 2850 em Elvas e de 2700 em Mértola. A Insolação é consistentemente maior em Elvas em todos os meses do ano.

3.8.1 - Radiação Global e Balanço energético à superfície

A Precipitação, a Evaporação e a Radiação Solar estão relacionadas, juntamente com outros termos, por duas equações de balanço da energia e da massa à superfície (cf Capítulo 5).

No caso de uma massa de água com uma superfície livre suficientemente extensa, como por exemplo um lago (ou uma albufeira) as perdas por evaporação são essencialmente limitadas pela energia solar disponível (Oke, 1987). A Figura A.16 distribuição da Radiação Global e da Radiação Difusa médias mensais em Évora, no período 1980/89.

A radiação global é uma medida objectiva da energia solar disponível mas, infelizmente, só é medida em Évora, não sendo, por isso, possível apresentar a sua distribuição espacial na bacia do Guadiana.

3.9. Nevoeiro, Geada e Orvalho

A ocorrência de Nevoeiro, Geada e Orvalho está fundamentalmente relacionada com as condições meteorológicas prevalentes no final da noite e princípio da manhã, quando as temperaturas do ar e da camada superficial do solo atingem os valores mínimos. A ocorrência destes fenómenos meteorológicos é muito dependente de condições locais, em termos de vento, exposição ao Sol, cobertura do solo, etc., e são de esperar grandes variações entre estações. Por esse motivo estas são algumas das variáveis mais sensíveis a alterações da utilização do solo e, de forma ainda mais intensa, à presença de massas de água (e.g. rios, lagos ou albufeiras) ou a modificações do relevo.

A Figura A.22 apresenta a frequência média mensal de ocorrência de nevoeiros nas nove estações da bacia do Guadiana. Os totais anuais encontram-se na Figura A.25. Beja apresenta a maior frequência de nevoeiros (57 dias por ano) seguida por Évora (52 dias). Elvas (9 dias/anos) apresenta a menor frequência de ocorrência de nevoeiro. Dado o carácter local do fenómeno não é prudente extrapolar (ou interpolar) para pontos da bacia não directamente observados. Considerando a Figura A.22, verifica-se que a ocorrência de nevoeiros é mais frequente durante os meses de Inverno. Em Elvas praticamente não se

observam nevoeiros entre Março e Outubro. Em Beja e Évora, pelo contrário, observam-se mais de 3 dias de nevoeiro em todos os meses, excepto em Julho e Agosto com cerca 2 dias.

A Figura A.23 apresenta a frequência média mensal de ocorrência de Geadas. Valores médios anuais podem ser lidos na Figura A.25. Como seria de esperar, a ocorrência de Geadas está restrita ao semestre mais frio. Neste caso Évora/Currais apresenta a maior probabilidade (47 dias por ano), seguida por Viana do Alentejo (40 dias) e Elvas (33 dias). Os valores mais baixos encontram-se em Contenda (7), Évora (8) e Beja (11 dias). Em todas as estações, a frequência máxima de ocorrência de geadas observa-se em Dezembro e Janeiro, havendo alguma probabilidade de ocorrência (mais de 1 dia por mês) entre Novembro e Março. No caso de Évora/Currais esse período estende-se entre Outubro e Abril.

A frequência de ocorrência de Orvalho é apresentada na Figura A.24. A variabilidade espacial é, mais uma vez a característica mais marcante, verificando-se que o fenómeno é extremamente frequente em Évora/Currais e Viana do Alentejo (140-150 dias/ano), frequente (60-70 dias) em Beja, Évora/Mitra e Amareleja e relativamente raro em Elvas e Mértola (10-20 dias). Por outro lado, a ocorrência de orvalho em Évora/Currais e Viana do Alentejo é (ainda) mais frequente no Verão enquanto que nas outras estações ela é mais frequente no Inverno e Primavera.

Deve acrescentar-se que em relação às variáveis referidas nesta secção se observam diferenças notáveis entre os valores calculados para a normal 1961/90 e para a normal 1951/80. Diferenças do mesmo tipo observam-se no caso da insolação e da evaporação. Dada a existência de um período de 20 anos comuns entre aquelas normais, a diferença encontrada mereceria um estudo mais aprofundado, que no entanto não é possível dados os constrangimentos temporais (e de dados) impostos a este estudo.

3.10. Outros parâmetros meteorológicos (Trovoadas, Neve, Granizo)

A precipitação sólida é extremamente invulgar nas estações climatológicas consideradas (menos de 1 dia por ano de granizo e 0 dias de neve). As trovoadas ocorrem,

pelo contrário, com alguma frequência: cerca de 8 a 17 dias por ano, com frequências não nulas em todos os meses e máximos em Junho e Setembro (Figura A.26).

3.11. Variabilidade Climática

A variabilidade interanual da precipitação no Alentejo na escala das dezenas de anos tem sido recentemente objecto de interesse no âmbito de estudos de Desertificação e Mudança do Clima. Este interesse tem sido naturalmente estimulado não só pelos problemas reais da desertificação que afecta muitas zonas da Europa do Sul como pela procura de sinais de aquecimento global e de outras alterações associadas ao *efeito de estufa*.

Em estudo realizado no Instituto de Meteorologia (Mendes e Coelho 1993) concluiu-se que existem diferenças estatisticamente significativas entre as normais climatológicas de 1931/60 e 1961/90 no que se refere à precipitação acumulada na Primavera, com uma tendência para diminuição desse valor na normal mais recente, da ordem dos 30 mm na região do Alentejo. No total anual, no entanto, não se detectaram variações estatisticamente significativas, devido à existência de compensações no período de Outono/Inverno.

É claro que qualquer redução de precipitação no período da Primavera pode ser extremamente importante em termos agrometeorológicos, dado se tratar de um período fundamental para o desenvolvimento de culturas. Admitindo que a variação decadal detectada para a precipitação na Primavera é real põe-se naturalmente a questão de saber qual a sua origem. Em estudo recente, Palutikof et al (1994) propõem a existência de oscilações quase periódicas no regime de circulação de todo o Mediterrâneo com escalas de tempo da ordem dos 20 anos, para explicar alterações nesta escala de tempo da precipitação no Alentejo e em diversas zonas da Europa do Sul. Em alternativa poderia sugerir-se a possibilidade de essas alterações se deverem a alterações antropogénicas da utilização do solo, seguramente importantes no caso do Alentejo neste século, mas difíceis de conciliar com comportamentos oscilatórios do regime de precipitação.

Um outro possível sinal de mudança climática no Alentejo foi recentemente referido por Sequeira (1993), ao chamar a atenção para um aumento significativo da amplitude térmica diária nas últimas décadas.

Numa tentativa de explorar um pouco os dados tornados disponíveis no presente estudo, e sem pretender de modo algum esgotar o assunto, procedeu-se a um pequeno exercício de análise da evolução da precipitação acumulada e da amplitude térmica nas estações de Évora e Beja, utilizando para o efeito os valores médios mensais obtidas a partir dos anuários climatológicos para todo o período de funcionamento das referidas estações. Nota-se que estas são as únicas estações com um período de funcionamento relativamente longo em toda a região.

Assim, na Figura 3.7 apresenta-se a evolução da precipitação acumulada na Primavera (Março-Abril-Maio) filtrada por uma média móvel de 10 anos, nas estações de Évora e Beja. Nota-se realmente uma diminuição sistemática dessa variável nas últimas décadas, mas é também evidente que a descida que actualmente se verifica foi antecedida por um período de subida de duração semelhante e que os valores actualmente observados não são menores que outros no início do século. Os dados das observações parecem, pois, ser compatíveis com variações naturais do clima em escalas de tempo da ordem das muitas dezenas de anos. No caso da precipitação acumulada anual (cf Figura 3.8) observa-se uma variabilidade interanual igualmente importante sem se detectar uma tendência clara a longo prazo.

Na figura 3.9 apresenta-se a evolução da amplitude térmica nas estações de Évora e Beja, utilizando novamente uma média móvel de 10 anos para filtrar as variações rápidas. No caso de Évora, não se observa nenhuma tendência clara de evolução para esta variável. No caso de Beja, pelo contrário, observa-se um claro aumento de amplitude térmica média mas esse aumento está muito localizado no tempo (na década de 1940) e encontra-se muito provavelmente associado a uma mudança de localização da estação climatológica (posteriormente confirmada junto do I.M.).

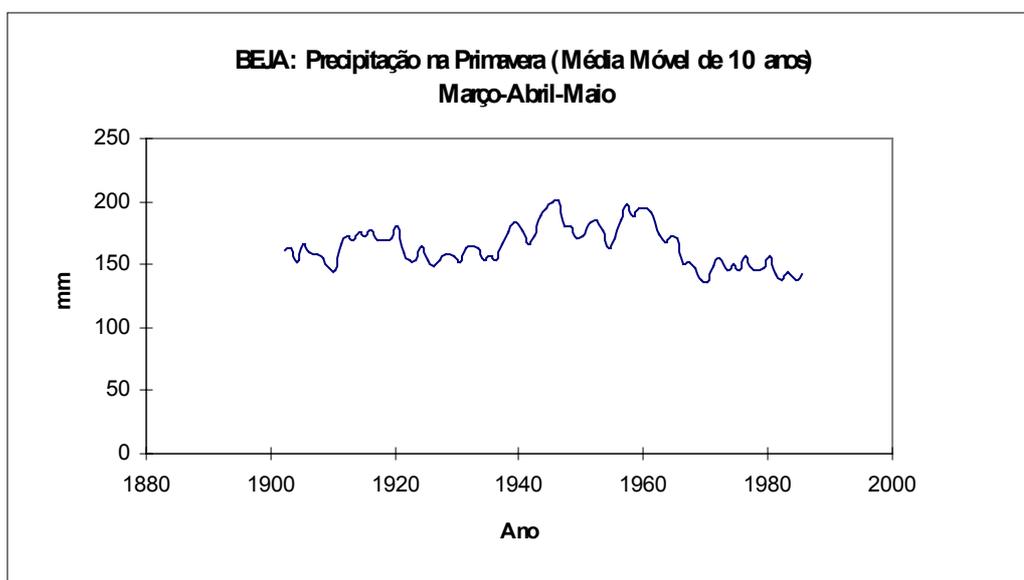
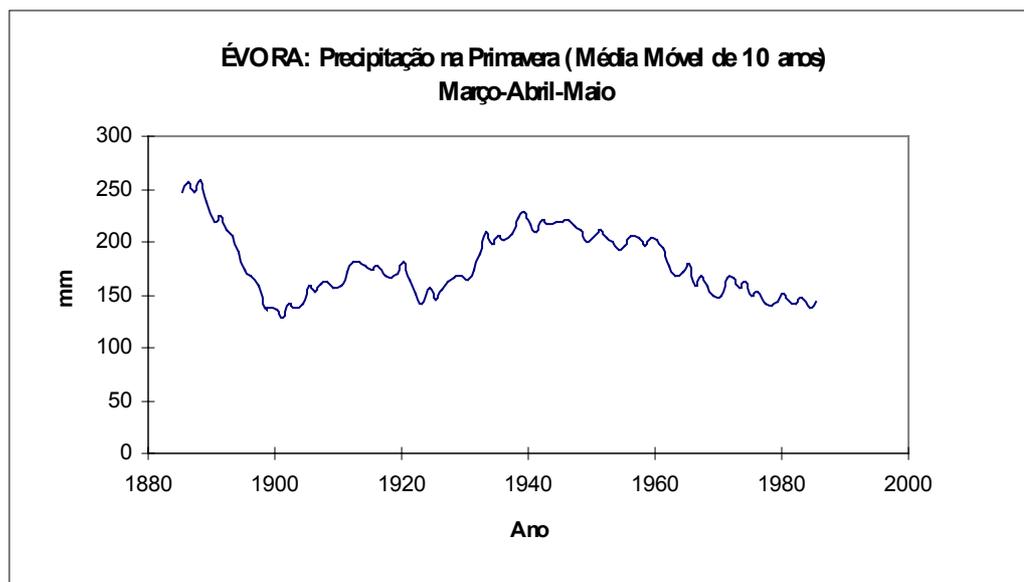


Figura 3. 7- Precipitação acumulada na Primavera (Março, Abril e Maio) em Évora e Beja. Média móvel de 10 anos

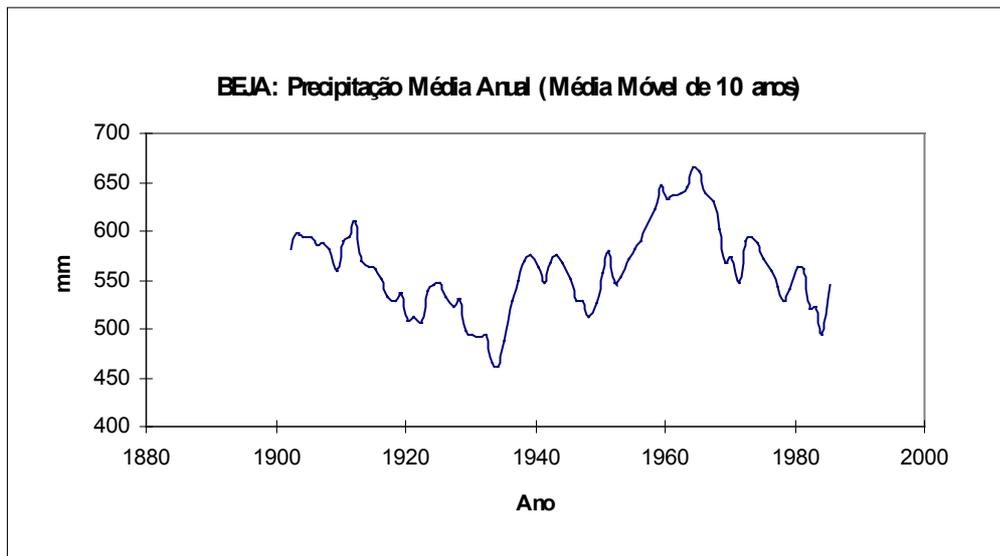
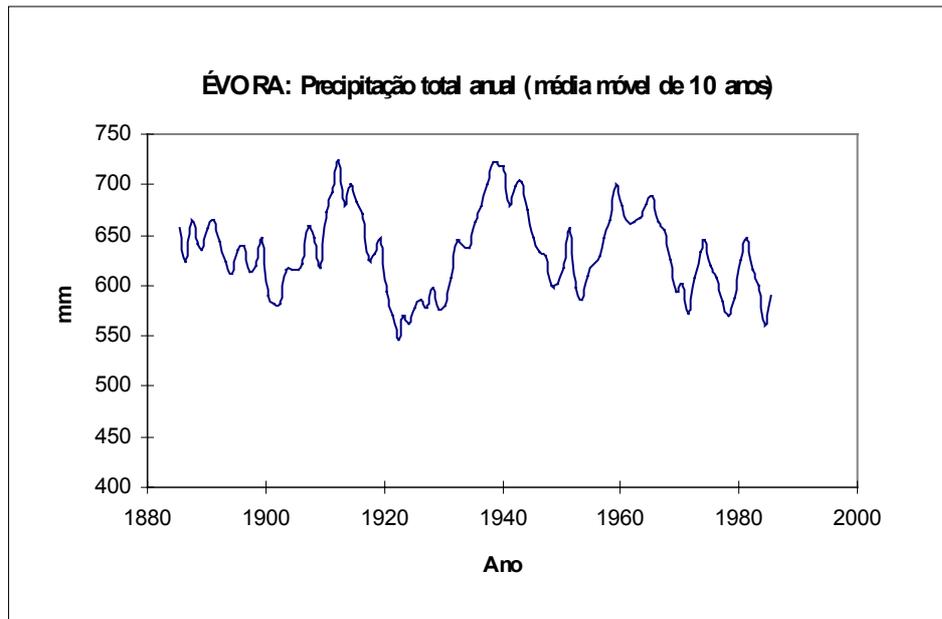


Figura 3.8 - Precipitação anual acumulada em Évora e Beja. Média móvel de 10 anos.

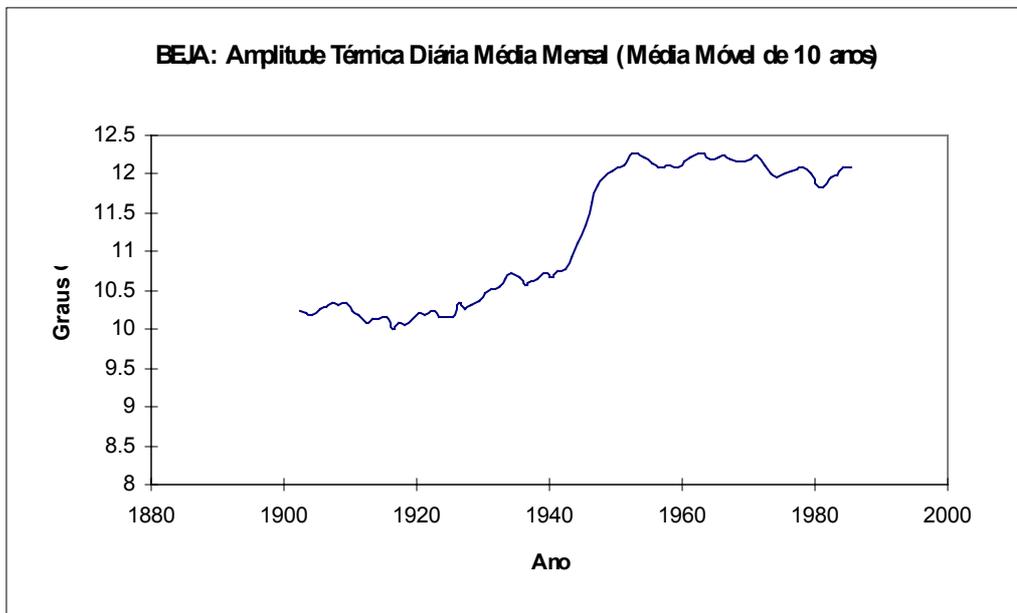
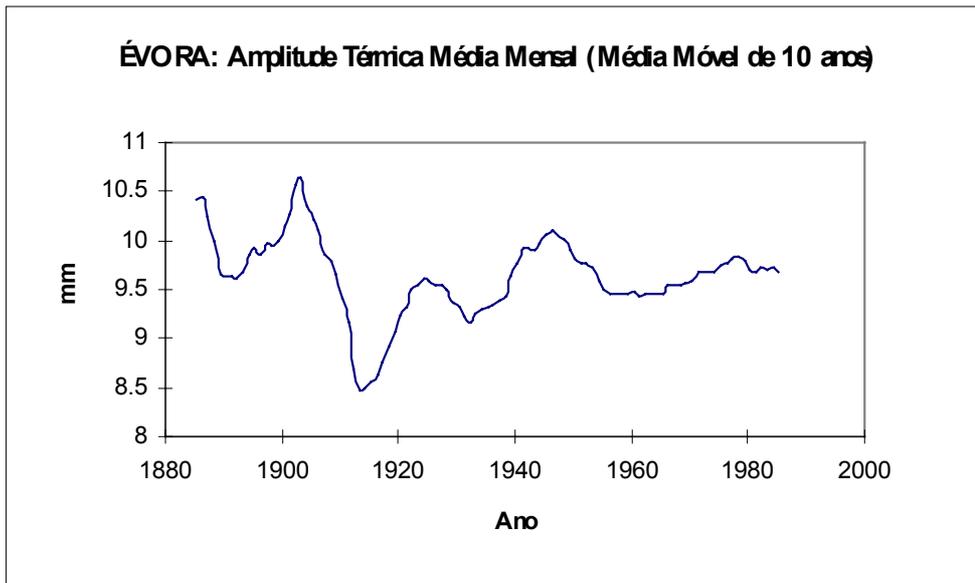


Figura 3.9 - Amplitude Térmica Média Mensal em Évora e Beja. Média móvel de 10 anos.

As evoluções da precipitação acumulada e da amplitude térmica média mostram uma variabilidade significativa mas não são facilmente interpretáveis como testemunhos de mudanças antropogénicas do clima global nas últimas dezenas de anos. O caso da variação da amplitude térmica em Beja mostra um problema sempre presente na análise de séries “longas” de dados climatológicos que é o da presença de perturbações espúrias de grande amplitude resultantes de alterações do sistema de observação e não do próprio clima. Aliás, deve referir-se que é muito difícil encontrar sinais inequívocos de aquecimento global em séries climatológicas em fase com os termos forçadores (aumento de emissões de gases de estufa, nomeadamente).

3.12. Nota final

Existem diversas lacunas fundamentais no conhecimento da situação de referência que resultam de deficiências e limitações da rede climatológica nacional. A mais importante consiste na falta de medições sistemáticas de evapotranspiração e dos diversos termos do balanço de massa e energia da superfície (transferências radiativas, fluxos de calor no solo, fluxos de calor e humidade na camada superficial). Existe actualmente equipamento para proceder a estudos deste tipo que, não sendo, nalguns casos, utilizável de forma generalizada na rede climatológica, dado o seu custo de exploração, poderia ser usado num estudo piloto bem programado na bacia do Guadiana. A obtenção de dados tradicionais de precipitação e evaporação numa rede de alta densidade espacial também poderia ser muito útil dada a elevada variabilidade desses parâmetros.

Um outro aspecto que pode ser considerado insuficientemente conhecido refere-se às características microclimáticas do Vale.

4. Análise Micrometeorológica

4.1. Campanha observacional

De acordo com a proposta de metodologia apresentada, procedeu-se a uma campanha observacional de recolha de dados micrometeorológicos com vista à estimativa dos fluxos de massa (vapor de água) e energia à superfície e à caracterização da camada limite superficial da Atmosfera. O objectivo essencial foi o de procurar determinar a influência local de uma pequena albufeira já existente e o de obter dados necessários à calibração do modelo atmosférico para a simulação do impacte da albufeira do Alqueva

Para o efeito foi instalada uma torre meteorológica de seis metros junto (cerca de 10 metros para sudoeste) à albufeira do Monte Novo e efectuaram-se ajustamentos em outras três torres englobadas na rede de estações meteorológicas do Centro de Geofísica de Évora, na herdade da Mitra (ao pé de Valverde) , numa herdade perto de Reguengos de Monsaraz e no Divor (Figura 2.1). A localização destas estações foi naturalmente condicionada por razões logísticas (segurança e acesso) mas permite obter alguma informação espacialmente diversificada na área a ser influenciada pelo projecto.

O período de observações considerado abrangeu os meses de Agosto, Setembro e Outubro. Em todas as estações foram registados automaticamente, de 10 em 10 minutos, os valores médios da temperatura do ar e do solo, da humidade do ar, da radiação solar e resultante, da intensidade e direcção do vento, a partir de medições de 2 em 2 segundos. Nas torres colocadas no Monte Novo e da Mitra foram instalados sensores de temperatura e anemómetros a vários níveis (4 no Monte Novo e 2 na Mitra) e termómetros de infra-vermelho. Na torre do Monte Novo foi ainda instalado um segundo sensor de humidade relativa bem como um anemómetro tridimensional.

Foram ainda utilizados dados de fluxos de energia à superfície e de temperatura do solo a várias profundidades, recolhidos, desde Novembro de 1993, numa herdade próxima de Évora, em solo mediterrâneo.

Apresenta-se de seguida uma breve análise dos dados recolhidos e de algumas conclusões pertinentes para o estudo em causa. Estes dados deverão ser objecto de uma análise posterior mais aprofundada.

4.2 Análise dos dados

4.2.1 Caracterização geral e variabilidade espacial

Os valores médios diários, da temperatura do ar, da humidade e do vento, bem como os dos fluxos de radiação à superfície e o fluxo de calor para o solo, observados em cada uma das quatro torres estão representados nas figuras B.1 a B.4, para todo o período da campanha. Como se pode verificar, a temperatura média do ar varia entre os 28 a 30 °C (excepto um pico de 35°C observado na Estação da Mitra correspondente ao dia 16 de Agosto) nos dias mais quentes de Agosto, e os 12 a 14 °C nos dias mais frios dos finais de Outubro. A variabilidade espacial no campo da temperatura não é muito evidente, como pode ser comprovado pela média global (Quadro 4.1) correspondente a todo o período da campanha, em que as diferenças observadas são inferiores a 1°C.

Já no campo da humidade relativa é possível observar-se uma maior diferença entre as estações, apresentando as estações do Monte Novo e do Divor uma humidade relativa média de 3 a 4% superior às estações de Reguengos e da Mitra. É um dado interessante, pois as duas primeiras situam-se, a primeira junto a uma albufeira, e a segunda instalada numa herdade irrigada, enquanto a da Mitra se situa numa região de montado e a de Reguengos numa herdade que durante o último ano agrícola se encontrou de pousio. Esta diferença pode ser indicadora do tipo de impacte associado a uma pequena barragem ou da existência de regadio, em termos de de humedificação da camada limite de superfície.

Nas quatro estações nota-se uma predominância dos ventos de NW e NNW, como é típico, durante o Verão, nesta região do Alentejo, sendo um exemplo da predominância do regime de vento associado à circulação criada pela depressão de origem térmica que se estabelece na baixa Troposfera sobre a Península Ibérica durante o Verão.

Na figura B.5 pode visualizar-se a evolução diurna média da temperatura do ar e do solo, a vários níveis, nos meses de Agosto, Setembro e Outubro, na estação do Monte Novo. Como se pode ver, a amplitude térmica, em Agosto, da temperatura da

superfície (sensor colocado a poucos milímetros de profundidade, em solo nu) é em média de 30°C com um máximo (médio) de 49°C. A variação diurna da temperatura medida pelo sensor colocado a 50 cm de profundidade no solo é, em qualquer dos meses, inferior a 0.5 °C e o ciclo diurno encontra-se praticamente em oposição de fase ao ciclo diurno da temperatura de superfície.

Quadro 4.1 Valores médios da temperatura do ar, vento, Radiação resultante, solar incidente, fluxo de calor para o solo e humidade relativa do solo e para o período total da campanha, Agosto, Setembro e Outubro.

	Tar	v6m	Rn	Rs	G	U
Monte Novo	19.75418	2.131244	108.3536	193.167	-0.60626	66.16006
Mitra	20.40893	3.004582	103.3131	217.8698	0.565297	63.32201
Reguengos	20.18756	3.250315	96.99935	212.2314	-0.67159	62.12179
Divor	19.68305	2.724746	115.6051	229.4585	2.724746	66.46734

A evolução diurna do perfil vertical da temperatura do ar revela uma situação típica de verão, e de princípio de outono, instável durante o dia e estável durante a noite. A temperatura do ar ao nível do abrigo, 1.5m, tem uma amplitude média, em Agosto, de 13°C, com um máximo (médio) de 27°. Comparando com as correspondentes figuras referentes à estação da Mitra (Figura B.6), pode verificar-se que não há diferenças assinaláveis no que diz respeito à amplitude do ciclo diurno e à média das temperaturas que correspondem a níveis comparáveis. Existe no entanto uma diferença significativa no perfil vertical da temperatura do ar, que no Monte Novo se torna muito menos instável, ou mesmo estável logo por volta das 16 horas, enquanto que na Mitra essa situação só ocorre às 18 horas. Como se verá mais à frente, esta diferença é justificada pela intensificação da evaporação na zona da estação do Monte Novo, o que equivale a dizer que as trocas de energia entre a superfície e a atmosfera vão ser dominadas pelo termo do fluxo de calor latente, pelo que o fluxo de entalpia, que aumenta com a instabilidade da atmosfera, tem de ser reduzido.

4.2.2 Determinação dos efeitos locais da albufeira do Monte Novo

O estabelecimento de uma circulação de brisa é um dos efeitos mais característicos da existência de contrastes horizontais no campo da temperatura

superficial na transição entre solo seco e uma massa de água. Não é no entanto imediato saber se as dimensões da albufeira do Monte Novo são suficientes para tornar sensível este efeito, nem avaliar a sua magnitude.

No sentido de confirmar a existência de uma oscilação diurna da direcção do vento representou-se graficamente a distribuição direccional média do vento ao longo do dia para o período da campanha. A Figura (B.7b) identifica o número total de dias (durante toda a campanha) em que, para cada hora, o vento soprou de cada quadrante. Como se pode observar o vento dominante é claramente de NW, o que está de acordo com a climatologia da região de Évora (cf. Cap.3). Nota-se ainda uma frequência relativamente elevada de ventos de W e SW durante a noite e um aumento da ocorrência de vento de N e E durante o dia. Se esta oscilação permite indiciar a existência da brisa, a conclusão não pode ser taxativa dado ser quase nulo o número de dias em que o vento sopra de NE, a direcção normal ao lago.

Para se analisar o efeito da oscilação diurna da direcção do vento é necessário ter também em atenção os dados referentes à intensidade. A figura (B.7a), onde está representada a média horária do módulo do vento por rumo, mostra que os ventos de NW, e também os de Norte, são mais intensos, o que permite justificar que, a existir brisa, a rotação do vento por ela induzida não seja suficiente para que o vento sopra de Nordeste, o que equivaleria a uma rotação de cerca de 90 graus, ou seja a que o efeito da brisa se sobreposesse ao vento sinóptico, o que não era de esperar. Além disso, o ligeiro aumento da intensidade do vento de Norte a meio do dia indícia a existência da brisa.

Para confirmar estes indícios é preferível isolar a componente do vento que sopra segundo a direcção do lago, tal com se apresenta nas figuras 4.1,2 e 3, onde está representada a média mensal da intensidade do vento para cada hora do dia segundo essa direcção para os meses de Agosto, Setembro, Outubro. A conclusão é claramente no sentido da existência da brisa. A componente do vento apresenta valores mais negativos - brisa de lago - durante o dia e menos negativos - brisa de terra - durante a noite. Tendo em conta que, tipicamente, a brisa de terra é inferior à brisa do mar/lago (cf. Pielke, 84), pode considerar-se que, em Agosto, a brisa induzida pela albufeira tem uma intensidade máxima média da ordem de 1ms^{-1} . Por comparação entre os 3 gráficos pode concluir-se que a estrutura da brisa se mantém até Outubro, apresentando valores da mesma ordem de grandeza em Agosto e Setembro e baixando de intensidade em Outubro.

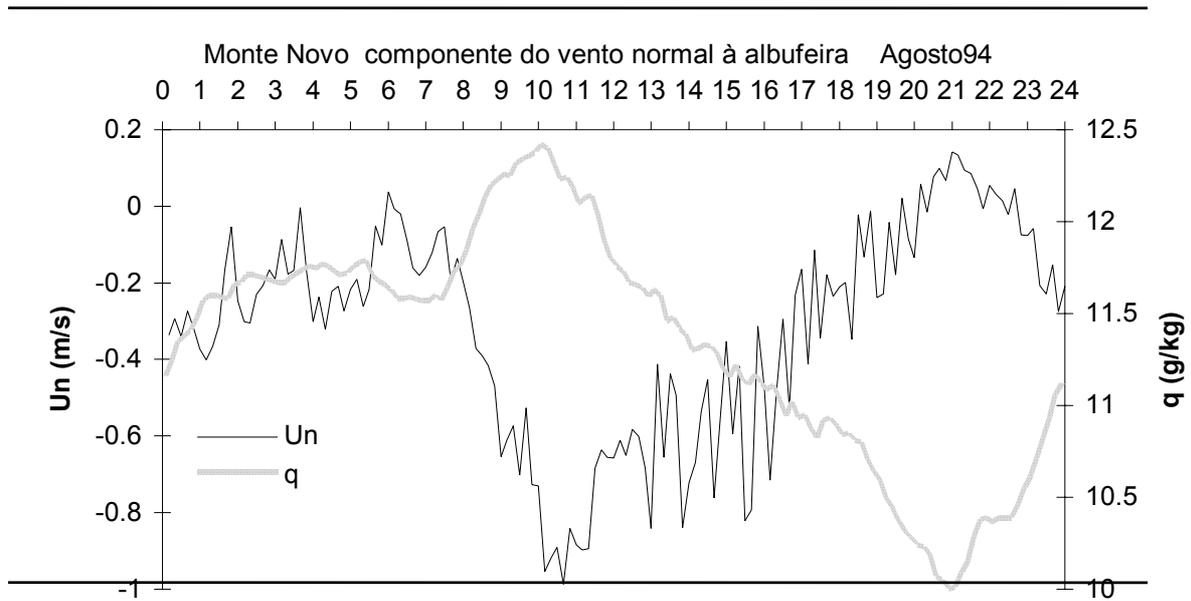


Figura 4.1 Representação gráfica da média mensal de Agosto da componente do vento normal, U_n , à albufeira do Monte Novo para cada hora do dia e da média mensal da humidade específica do ar ao 1.5m

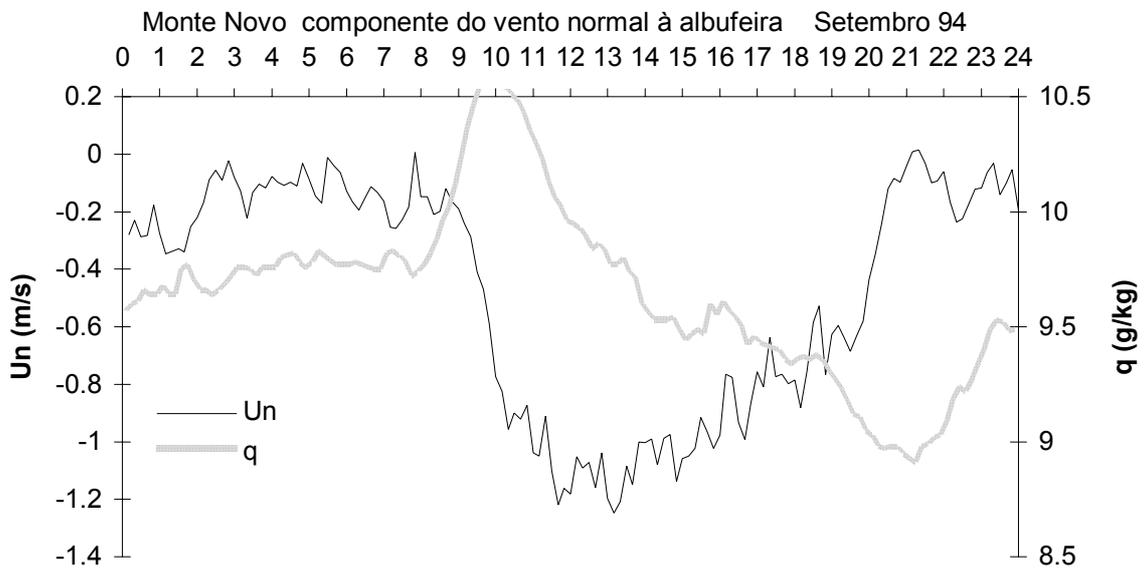


Figura 4.2 Representação gráfica da média mensal de Setembro da componente do vento normal, U_n , à albufeira do Monte Novo para cada hora do dia e da média mensal da humidade específica do ar ao 1.5m

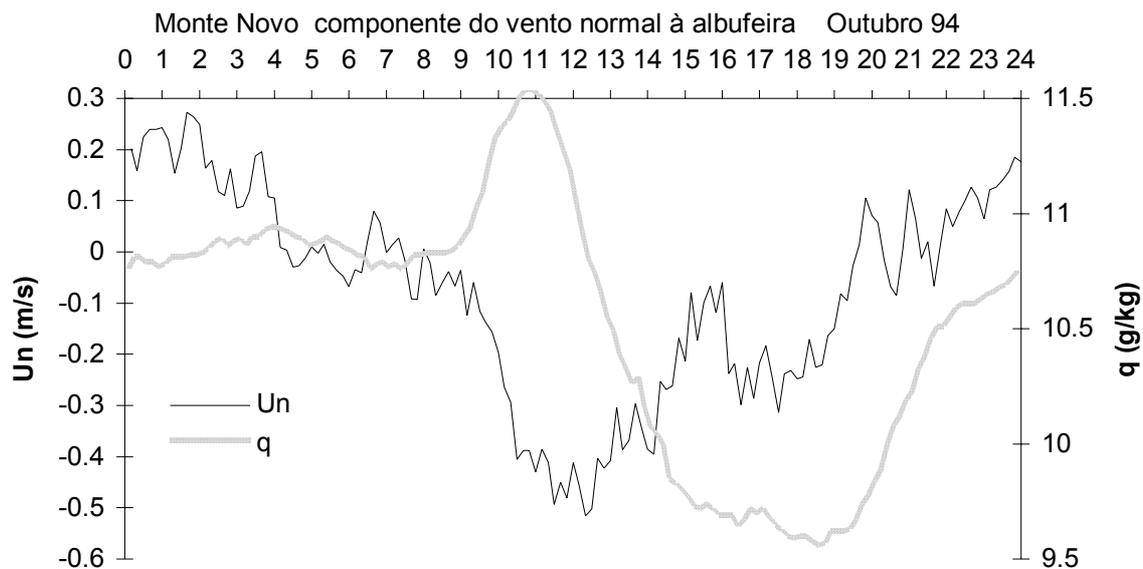


Figura 4.3 Representação gráfica da média mensal de Setembro da componente do vento normal, U_n , à albufeira do Monte Novo para cada hora do dia e da média mensal da humidade específica do ar ao 1.5m

É de notar que a evolução da componente do vento segundo esta mesma direcção, observada na estação da Mitra (figura B.8), apresenta um padrão completamente distinto, o que vem confirmar o carácter local da circulação observada no Monte Novo e a sua relação com o efeito da albufeira.

As curvas de evolução da humidade específica, calculada a partir do sensor de humidade relativa colocado aos 3m, também traçada nas figuras 4.1,2 e3 permitem ainda retirar uma outra conclusão interessante. Por altura do estabelecimento do regime de brisa do lago, há um aumento súbito, em qualquer dos três meses, da humidade específica do ar, de quase 1 g/kg, certamente devido à advecção de ar mais húmido proveniente da camada superficial adjacente ao lago.

Paradoxalmente, a partir das 11 da manhã há uma diminuição considerável da humidade específica da atmosfera. A explicação para este efeito não é clara, mas pode estar relacionado com o estabelecimento de uma zona local de subsidência, que acompanharia a divergência do vento à superfície. É também de ter em conta que a descontinuidade no campo da temperatura e na rugosidade do solo que existe na zona de separação entre a albufeira e a sua margem força o estabelecimento de duas camadas limites internas, localmente em equilíbrio, cuja fronteira de separação se inclina no sentido da velocidade do vento, e sofre uma oscilação ao longo do dia, que é função do perfil do vento e dos gradientes horizontais dos fluxos energéticos à superfície (cf. Garratt, 1992). Como a torre se encontra instalada muito perto da margem, a estas

oscilações podem corresponder variações na sua localização relativa à fronteira entre as camadas limites internas, ou seja que durante a tarde (ventos mais intensos) o equilíbrio local da atmosfera esteja mais dominado pelo solo e durante a manhã (ventos, em geral mais fracos) pela albufeira. Uma explicação definitiva exigiria a existência de muito mais informação sobre a estrutura horizontal e vertical da camada limite local.

Por outro lado, poder-se-à afirmar que o efeito introduzido pelo lago, se bem que visível durante a manhã e nos valores médios da humidade relativa, não é suficiente para alterar o padrão da evolução diurna da humidade específica na região, que pode ser observado nos gráficos correspondentes para a estação da Mitra (Figura B.8).

4.2.3 Estimativa dos fluxos energéticos à superfície

Os fluxos radiativos à superfície foram medidos directamente utilizando pirradiómetros e piranómetros o que permite obter não só valores da radiação resultante como também a sua decomposição nos diversos termos relevantes para a caracterização do balanço radiativo à superfície e para o forçamento do modelo atmosférico utilizado nas diversas simulações (Cap. 5). Foram igualmente medidos os fluxos de calor por condução na camada superficial do solo, a poucos milímetros de profundidade, G , utilizando para o efeito fluxímetros.

O cálculo dos fluxos de entalpia, H , e calor latente, LE foram efectuados através do método aerodinâmico (ou de perfil) a partir das medições efectuadas a mais do que um nível. Este método consiste na aplicação das relações de semelhança de Monin-Obukhov que prediz que os perfis do módulo da intensidade do vento médio, u , da temperatura, θ , e da humidade específica podem ser expressos por (cf. Arya, 88):

$$u(z) = \frac{u_*}{k} \left[\ln z - \Psi_m \left(\frac{z}{L} \right) \right] - \frac{u_*}{k} \ln z_0$$

$$\theta(z) = \frac{H}{k\rho c_p u_*} \left[\ln z - \Psi_h \left(\frac{z}{L} \right) \right] + \left(\theta_0 - \frac{H}{k\rho c_p u_*} \ln z_0 \right)$$

$$q(z) = \frac{E}{k\rho u_*} \left[\ln z - \Psi_w \left(\frac{z}{L} \right) \right] + \left(q_0 - \frac{E}{k\rho u_*} \ln z_0 \right)$$

onde θ_0 e q_0 são os valores da temperatura potencial e da humidade específica em z_0 , a distância ou parâmetro de rugosidade, k é a constante de Von Karman, u_* a velocidade de fricção e L a escala de comprimento de Obukhov, um parâmetro que caracteriza a estabilidade atmosférica e que é definido por (cf. Brutsaert, 82):

$$L = \frac{-u_*^3 \rho}{kg \left[\left(\frac{H}{T_a c_p} \right) + 0.61E \right]}$$

As funções universais ou de semelhança, ψ , que traduzem a influência da estabilidade nos perfis podem ser encontradas na literatura (e.g. Pielke, 84).

Para a estação do Monte Novo, onde existiam valores correspondentes a 4 níveis de vento e temperatura, as equações foram resolvidas, em ordem ao cálculo dos fluxos, iterativamente garantindo em cada passo um ajuste pelo método dos mínimos quadrados. Deste modo, é possível não só obter estimativas para o fluxo mas também para z_0 e θ_0 . Como estes cálculos são muito sensíveis a ligeiras indeterminações nas observações, as estimativas foram sujeitas a um simples processo de validação, que desprezou valores irrealistas e garantiu a não violação da conservação da energia à superfície.

Para a estação da Mitra, o cálculo foi efectuado utilizando os dois únicos níveis disponíveis de vento e os três de temperatura, recorrendo a uma versão simplificada do método descrito. A estimativa do fluxo de calor latente foi obtida por resíduo a partir dos outros termos energéticos, de modo a garantir de balanço de energia à superfície, prática comum neste tipo de observações (cf. Goutorbe, 1991). Os resultados têm de ser analisados com cuidado na medida em que a incerteza associada a este método é da ordem dos 50% (cf. Goutorbe, 1991).

As médias mensais dos fluxos energéticos, por hora, dos resultados obtidos estão representados nas figuras (B.9). Os valores medidos para os fluxos radiativos são muito semelhantes para as duas estações e são consistentes com os valores encontrados na literatura. Existem no entanto diferenças com algum significado nos valores dos fluxos, estimados, de calor sensível e latente. Nota-se claramente um aumento do fluxo de calor latente e, portanto, de evaporação, durante a tarde na estação do Monte Novo que é consistente com a diminuição de humidade que se observa no nível mais elevado. É também significativa a diferença entre a evaporação média estimada nas duas estações.

Isto quer dizer que a presença da albufeira introduz um aumento médio de evaporação. Na Estação do Monte Novo o fluxo de calor latente é manifestamente superior ao do fluxo de entalpia, o que já não sucede na Mitra.

As variâncias das grandezas meteorológicas permitem caracterizar a intensidade da turbulência e a sua evolução temporal, que está directa, mas não linearmente, relacionada com os fluxos energéticos que são descritos por covariâncias entre o vento e a grandeza que está a ser transportada pela turbulência. As variâncias do vento, da humidade relativa e da temperatura foram determinadas, nas estações do Monte Novo e da Mitra, em cada dez minutos, com base nos valores medidos de 2 em 2 segundos. A evolução diurna média para o mês de Agosto está representada na Figura (B.10). O padrão da evolução diurna é consistente com os dados patentes na literatura (cf. Stull, 89) e indica um máximo pouco depois do meio dia (em todas as grandezas), que corresponde ao período de máximo dos fluxos energéticos e de instabilidade na camada limite superficial. A comparação entre os gráficos respeitantes à Mitra e ao Monte Novo não permite concluir com clareza sobre o efeito da albufeira na estrutura da turbulência.

5. Impacte Climático

5.1. Modelos

5.1.1. Modelo Atmosférico

O modelo de Mesoscala utilizado neste estudo foi desenvolvido por Miranda & James (1992), utilizando a formulação proposta por Miller & White (1983), anteriormente utilizada no modelo bidimensional de Xue & Thorpe (1991). Trata-se de um modelo *tridimensional, não hidrostático*, utilizando um sistema de coordenadas que *segue o terreno*, definido com base na pressão. Neste sistema a coordenada vertical $\sigma=(p-p_{TOP})/(p_{sup}-p_{TOP})$, toma o valor 0 no topo do modelo ($p=p_{TOP}$) e o valor 1 na superfície ($p=p_{sup}$), o que se traduz no facto de permitir uma representação correcta do escoamento na presença de orografia. Apesar de não existir uma equivalência formal, a aproximação utilizada é comparável à aproximação anelástica, normalmente utilizada em modelos não-hidrostáticos em que sistema de coordenadas se baseia na altura escalada.

Os detalhes matemáticos da formulação analítica e os métodos numéricos utilizados pelo modelo encontram-se descritos nas referências citadas e a sua exposição ultrapassaria em muito os objectivos do presente relatório. Os leitores interessados terão pois de recorrer a essas referências. Muito sinteticamente, o modelo procede à integração temporal de um sistema de 6 equações diferenciais às derivadas parciais (*Equações de Prognóstico*) que traduzem condições de *balanço do momento angular* (Lei de Newton, que produz neste caso 3 equações de evolução uma para cada componente do vector velocidade) de *balanço da massa* (Equação da Continuidade) e de *balanço de energia* (Equação termodinâmica) e de *balanço da água*; as equações de prognóstico são complementadas por um conjunto de equações de diagnóstico traduzindo as propriedades termodinâmicas do ar e as condições de balanço impostas na aproximação; existem ainda equações particulares de evolução para as condições no solo (descritas na secção seguinte). Este conjunto de equações diferenciais não lineares rege a evolução termohidrodinâmica de um elemento de volume da atmosfera e a sua integração exige o recurso a métodos numéricos que permitem obter a solução, i.e. a evolução do estado da atmosfera, numa rede tridimensional de pontos que cobre o domínio seleccionado.

As equações do modelo incluem diversos termos que dão conta do efeito de fenómenos que ocorrem em pequenas escalas, não directamente representáveis na rede computacional. Estes termos incluem em particular o efeito da mistura turbulenta, *parametrizada* como um termo difusivo, por intermédio do *fecho de 1ª ordem* de Lilly e Smagorinsky (em que a difusão turbulenta é função da deformação do campo da velocidade e da estabilidade atmosférica). Este termo é fundamental no caso das simulações apresentadas neste trabalho, dado ser o principal responsável pelos fluxos verticais de massa e energia na Camada Limite Atmosférica.

A solução produzida pelo modelo depende essencialmente das *condições fronteira* do problema, i.e.:

- a) das *condições iniciais* do escoamento atmosférico - distribuição de temperatura, vento e humidade;
- b) das *condições na fronteira do domínio*, inferior, superior e laterais - relevo, distribuição das propriedades da superfície, transporte advectivo; estas condições podem ser consideradas como termos de forçamento externo;
- c) da *evolução temporal do forçamento*.

Em geral, os modelos de Mesoscala utilizam-se como modelos de previsão a curto prazo (e.g. 24 a 48 h). No entanto, eles constituem igualmente uma poderosa ferramenta de diagnóstico da resposta da atmosfera a alterações das condições de forçamento que ocorram em escala regional, na medida em que contêm uma formulação bastante completa e realista das leis da Física aplicáveis e permitem obter directamente, sem simplificações desnecessárias, os diferentes termos que intervêm no delicado balanço existente entre a atmosfera e a superfície do globo.

5.1.2. Modelo de solo

A evolução das condições da superfície - Temperatura e humidade no solo e nas plantas - é claramente um dos problemas fundamentais do presente estudo. Do ponto de vista teórico, a formulação do problema não apresenta aparentemente grandes dificuldades, consistindo na solução das duas equações de balanço de massa (quantidade de água) e energia válidas para a camada superior do solo (cf Oke (1984)):

$$(1) \quad C \frac{dT}{dt} = R_N - H - Le - G$$

$$(2) \quad \frac{dW}{dt} = P - e - S$$

em que **T** representa a temperatura dessa camada, **C** a sua capacidade calorífica, **R_N** a radiação resultante ($R_N = R_{SOLAR} + R_{ATMOSFÉRICA_DESCENDENTE} - R_{EMITIDA_PELA_SUPERFÍCIE}$), **H** o fluxo de entalpia, **Le** o fluxo de Calor Latente, **G** o fluxo de calor no solo, **P** a precipitação, **e** a evaporação e **S** a divergência do fluxo de água no solo (horizontal - escorrência, e vertical - infiltração)

Na prática, no entanto, a solução apresenta diversas dificuldades dado o facto de o cálculo dos diferentes termos do lado direito depender do conhecimento detalhado das propriedades do solo (nomeadamente: condutividade térmica, capacidade calorífica e permeabilidade à água) e da camada limite atmosférica.

No caso do transporte atmosférico (Cálculo de H e Le) existe uma teoria bem estabelecida e suportada por observações - a *Teoria de Monin-Obukhov* (cf Stull, 1984) - que permite o cálculo dos fluxos a partir do conhecimento da natureza da superfície (rugosidade) e da sua temperatura e humidade, e do vento, temperatura e humidade na baixa atmosfera. Esta teoria, no entanto, só é válida até cerca de 50 m acima da superfície, impondo um forte constrangimento à rede computacional a utilizar.

No que se refere aos termos radiativos, o seu cálculo exacto é extremamente laborioso dado que exige o conhecimento pormenorizado da nebulosidade e da distribuição de vapor de água na atmosfera. Para além disso, é bem conhecido que a modelação da interacção entre nuvens e radiação é extremamente complexa, produzindo muitas vezes resultados de difícil interpretação, associados à existência simultânea de processos de realimentação (*feedback*) de sinal contrário. Assim, dada a necessidade de garantir a representatividade dos resultados, optou-se por evitar estes problemas e impôr simplesmente os fluxos radiativos atmosférico descendente e solar a partir de observações recentemente realizadas no Alentejo (cf Capítulo 2) de radiação global, de albedo e de radiação atmosférica. No caso do fluxo ascendente emitido pela superfície, este é facilmente calculado com recurso à lei de Stefan-Boltzman:

$$(3) \quad R_{EMITIDO} = \epsilon \sigma T^4$$

em que se aceitou um valor da emissividade de $\epsilon = 0.98$, sendo σ a constante de Stefan-Boltzman..

Finalmente, a evolução da temperatura e humidade do solo é calculada recorrendo ao modelo de Noilhan e Planton (1989), que procede à integração das equações de balanço (1-2), dados os termos forçadores já referidos, utilizando uma representação bastante simplificada, mas com bom fundamento físico, do comportamento termohidrodinâmico e hidráulico do solo natural e das plantas. Este modelo, desenvolvido no Centre National de Recherches Meteorologiques, em Toulouse, tem sido intensivamente testado em simulações de Mesoscala e de Escala Global, em modelos de Clima e de Previsão do Tempo.

Uma descrição detalhada deste modelo pode ser encontrada na referência. Sucintamente, o modelo considera cinco variáveis de prognóstico: temperatura de superfície, T_s ; temperatura do solo profundo, T_2 , o conteúdo volumétrico de água à superfície, w_s ; o conteúdo em água do solo profundo, w_2 ; e a quantidade de água retida na superfície por intersecção, W_r . O número de parâmetros necessários à descrição do solo e vegetação, descritos no Apêndice C, foi reduzido ao máximo possível de modo a preservar a representação dos mecanismos fundamentais que controlam os balanços de água e energia à superfície. São considerados três parâmetros primários, a partir dos quais são calculados os restantes: a textura do solo, o tipo de vegetação e o albedo. Os parâmetros, que descrevem as propriedades térmicas e hidráulicas do solo, são calculados, de acordo com a classificação extural de Clapp e Hornberger (1978), a partir da percentagem de argila e de areia existentes no solo.

As equações de evolução utilizadas neste modelo de solo estão sumarizadas no apêndice D, onde se encontra também uma listagem dos parâmetros relevantes e das expressões utilizadas para o seu cálculo.

Note-se que T_s é uma temperatura representativa quer do solo nu, quer do coberto vegetal. Se bem que a diferença entre as duas temperaturas possa ser de alguns graus, a utilização desta formulação em modelos de mesoscala e de clima tem-se revelado mais eficiente do que uma representação explícita das duas temperaturas. No entanto, e por isso esta chamada de atenção, introduz algumas dificuldades - facilmente superáveis - na comparação dos resultados com observações meteorológicas clássicas. Na análise dos resultados proceder-se-á, por esse motivo, a uma interpolação na vertical, consistente com a teoria da camada limite de superfície de Monin-Obukhov, com vista a estimar a Temperatura e a Humidade do ar aos 2 m.

As equações de evolução utilizadas pelo modelo são uma aplicação das equações de balanço de energia e vapor de água (1) e (2), em que algumas constantes foram recalibradas:

$$\frac{\partial T_s}{\partial t} = C_g^{-1} (R_N + H + LE) + 2\pi\tau^{-1} (T_s - T_2) \quad (4)$$

$$\frac{\partial T_2}{\partial t} = \tau^{-1} (T_s - T_2) \quad (5)$$

$$\frac{\partial w_g}{\partial t} = \frac{C_1}{\rho_w d_2} (P_g - E_g) - \frac{C_2}{\tau} (w_g - w_{geq}) \quad (6)$$

$$\frac{\partial w_2}{\partial t} = \frac{1}{\rho_w d_2} (P_g - E_g - E_{tr}) \quad (7)$$

$$\frac{\partial W_r}{\partial t} = vegP - E_r \quad (8)$$

onde $C_g = (1 - veg)C + vegC_v$, é uma capacidade térmica superficial global, veg a percentagem de vegetação (percentagem da radiação solar que é interceptada pela plantas), τ o tempo de um dia, ρ_w a densidade da água líquida, P a precipitação E_g a evaporação pelo solo nu e E_{tr} a evapotranspiração das plantas,

$$E = \underbrace{veg \rho \lambda C_h U_a r'' (q_{sat}(T_s) - q_a)}_{vegetação} + \underbrace{(1 - veg) \rho \lambda C_h U_a (hq_{sat}(T_s) - q_a)}_{solo} \quad (9)$$

onde h , a humidade relativa do ar à superfície, é parametrizada da seguinte maneira:

$$h = \begin{cases} 0.5 \left(1 - \cos \frac{4w_s}{3w_{sat}} \pi \right) & se \ w_s < 0.75w_{sat} \\ 1 & se \ w_s > 0.75w_{sat} \end{cases} \quad (10)$$

$$r'' = \delta + (1 - \delta) \frac{r_a}{r_a + r_s}$$

5.1.3 Modelo Agrometeorológico

5.1.3.1 Temperatura e desenvolvimento vegetal

O desenvolvimento dum cultura é constituído por um conjunto de processos discretos, isto é, com uma certa duração, como por exemplo a germinação, a

emergência, a expansão do coberto vegetal e a do sistema radicular, a floração, o enchimento do grão, etc. Assim, a duração do desenvolvimento da cultura até à maturação é o somatório das durações dos processos de desenvolvimento apropriados. Se a duração de um processo (ou conjunto de processos) for τ (geralmente em unidades de dia), então a taxa de desenvolvimento será $R = 1/\tau$. Monteith (1981) estabeleceu o conceito de **tempo térmico**, baseado na observação empírica que a taxa de desenvolvimento de um processo varia numa forma aproximadamente linear com a temperatura, de acordo com a equação

$$R = \frac{1}{\theta}(\bar{T} - T_b), \quad \text{com } T_b \leq \bar{T} \leq T_0$$

onde \bar{T} é a temperatura média ambiental durante o tempo τ , T_b e T_0 são respectivamente as temperaturas base e óptima do processo de desenvolvimento e θ é o tempo térmico ou duração térmica do desenvolvimento, geralmente em graus-dia ($^{\circ}\text{C d}$). Este conceito exprime o facto que a duração cronométrica de desenvolvimento diminui com o aumento da temperatura ambiental, de forma tal que a duração térmica permanece constante. Para cada cultivar, as temperaturas cardinais e a duração térmica tendem a ser grandezas conservativas quando a água não é factor limitante, embora θ aumente com a deficiência hídrica.

5.1.3.2. Radiação solar e produção vegetal

Em condições de água e nutrientes não limitantes, a acumulação de matéria seca por uma cultura está linearmente relacionada com a radiação solar que o coberto vegetal intercepta (Monteith, 1981). A equação que exprime esta acumulação ao longo do tempo t (dias) até à maturação da cultura é do tipo

$$\int_0^{\tau_c} W dt = \varepsilon_v \int_0^{\tau_f} S_i dt + \varepsilon_r \int_{\tau_f}^{\tau_c} S_i dt$$

onde W é a taxa de acumulação de matéria seca ($\text{g m}^{-2} \text{d}^{-1}$), S_i é a radiação solar diariamente interceptada ($\text{MJ m}^{-2} \text{d}^{-1}$) e ε_v e ε_r são os coeficientes de conversão da

radiação interceptada em matéria seca (g MJ^{-1}), respectivamente durante o período vegetativo e reprodutivo. Estes coeficientes tendem a ser conservativos para uma dada cultivar. As quantidades τ_c e τ_f representam, respectivamente, a duração cronológica da cultura e o período de tempo até à floração.

5.1.3.3. Água e produção vegetal

Em condições semi-áridas, onde a água e nutrientes limitam a produção vegetal, as culturas crescem e acumulam matéria seca à medida que os cobertos vegetais conseguem transpirar. Todo o crescimento da cultura depende da intercepção e extracção de água do solo pelo sistema radicular em desenvolvimento (Monteith, 1986). Nestas condições, a quantidade de matéria seca acumulada por uma cultura durante o seu ciclo é dada por:

$$\int_0^{\tau_c} W dt = \left(\frac{k}{\bar{D}} \right) \int_0^{\tau_c} ETR dt$$

onde ETR é a evapotranspiração diária ($\text{kg m}^{-2} \text{d}^{-1}$), \bar{D} (kPa) é o défice médio de saturação da atmosfera no período diurno durante τ_c e k é uma constante com unidades de $(\text{g de matéria seca})(\text{kPa})(\text{kg de água transpirada})^{-1}$.

5.2 Estratégia de simulações

O custo computacional do modelo de mesoscala não permite utilizá-lo num número muito elevado de simulações, dados os fortes constrangimentos temporais impostos à realização do Estudo de Impacte. Por outro lado, a quantidade de informação produzida em cada simulação é tão grande que não é realmente possível apresentá-la na sua totalidade. Assim, na escolha do conjunto de simulações a realizar e, dentro destas, o subconjunto de resultados a apresentar, procurou focar-se a atenção num pequeno conjunto de problemas, identificados numa análise prévia semi-quantitativa (cf. secção 5.3).

Por outro lado, na impossibilidade de realizar simulações muito prolongadas no tempo, optou-se por realizar simulações de ciclos diurnos típicos, centrando a análise no

cálculo da resposta do sistema a alterações das condições de superfície. Este tipo de aproximação é consistente (e inevitável a esta escala), dado o facto de se tratar da simulação da interacção entre dois sistemas com tempos de resposta muito diferentes: por um lado o solo/biosfera, com uma *memória* a alterações do forçamento da ordem de meses, e por outro a camada limite atmosférica com um acoplamento relativamente rápido com o solo.

As simulações realizadas podem agrupar-se em três grupos:

a) Simulações quase uni-dimensionais, realizadas com uma rede de $9 \times 9 \times 60$ (em que o último número se refere ao número de pontos na vertical), estendendo-se até aos 100 mb, com condições de superfície horizontalmente homogéneas. O objectivo destas simulações é a determinação da *sensibilidade* do sistema a alterações do forçamento.

b) Simulações tridimensionais, realizadas numa rede de $37 \times 37 \times 60$, com uma resolução horizontal de 4 km e o primeiro nível aos 33 m (a rede vertical é idêntica ao grupo a)). No caso destas simulações realizaram-se simulações com parâmetros de superfície realistas, correspondendo quer à situação de referência (Alentejo sem Alqueva) quer à situação no horizonte do projecto, com o Alqueva cheio de água e os perímetros de rega em plena operação. O objectivo destas simulações é, por comparação, inferir o impacte climático do projecto.

c) Simulações pontuais com o modelo de solo e forçamento atmosférico prescrito para um ciclo de 9 meses. Neste caso utilizam-se valores observados de Temperatura do ar, do vento e da humidade relativa aos 2 m e valores observados dos fluxos de radiação descendente (de pequeno e grande comprimento de onda), impõe-se uma estratégia de rega (eventualmente nula) e o modelo calcula todos os fluxos (entalpia, evaporação, radiação resultante, etc) e a evolução da Temperatura e do conteúdo de água do solo. Neste caso não é possível contabilizar o *feedback* atmosférico, mas pode obter-se uma estimativa da resposta do sistema ao longo do ano, dado que uma simulação de um ano se efectua em poucos minutos. Estas simulações são utilizadas numa tentativa de estender os resultados anteriores e de analisar a sensibilidade do sistema para alterações lentas das condições de forçamento.

A utilização da análise diferencial proposta, avaliando o impacte por subtracção entre as condições produzidas com o Projecto e sem o Projecto, permite reduzir de

forma decisiva a inevitável incerteza introduzida na escolha dos diferentes parâmetros. Por outro lado, a análise das condições existentes no horizonte do projecto e, nesse cenário, em condições de Verão corresponde até certo ponto à avaliação do impacte máximo esperado.

A definição das simulações exige a escolha de um extenso conjunto de parâmetros. O Quadro 5.1 apresenta de forma sintética a lista dos principais parâmetros necessários e, simultâneamente, enumera as escolhas feitas em cada caso.

Vai de seguida apresentar-se alguns dos mapas de propriedades de superfície utilizados nas simulações tridimensionais. Tal como se pode concluir da análise do Quadro 5.1, uma boa parte desses mapas são derivados directamente a partir dos mapas de irrigação e da albufeira, pelo que a sua estrutura é essencialmente idêntica. Assim, para poupar espaço apresentam-se unicamente os mapas que são espacialmente independentes.

Quadro 5. 1- Parâmetros utilizados nas simulações

Grupo	Parâmetros	Valores	Obs
Situação Atmosférica	Velocidade do Vento U	10 m/s aos 1000 m ¹ de NW	
	Estabilidade Atmosférica	0.01 s ⁻¹	
	Humidade Atmosférica	a) 70% b) 90%	cf. Cap 2
Forçamento Radiativo	Radiação Solar Global	a) Média de Julho 94 b) Média de Maio 94	cf. Cap 2
	Radiação Atmosférica Descendente	a) Média de Julho 94 b) Média de Maio 94	cf Cap 2
Propriedades da Superfície	Mapa: albedo	0.2 a 0.18 ²	cf Cap 2
	Mapa: tipo de solos		ver mapas
	Mapa: profundidade do Solo	Média 0.8 m	id
	Mapa: Zonas de Irrigação	0 a 1	id
	Mapa: Albufeira		id
	Mapa: rugosidade	0.2 m	
	Mapa: água no solo	a) 0.05 a 0.35 ² b) 0.12 a 0.35	id
	Mapa: tipo de vegetação	Não arbórea	
	Mapa: percentagem de cobertura vegetal	0.4 a 0.8 ²	
	Mapa: Topografia		id
	Mapa: resistência estomatal	30	
	Mapa: Índice de área de folha (Leaf Area Index)	1 a 4 ²	
	Mapa: Temperatura inicial	a) 289 K (16 °C) b) 286 K (13 °C)	a) Mínima Julho b) Mínima Maio

¹ O vento junto à superfície é inicializada a 2 m/s mas é ajustado pela própria dinâmica da Camada Limite.

²Primeiro valor corresponde à zona não irrigada, segundo valor à zona irrigada a 100% (Num pixel de 4km × 4km).

5.3 Características da superfície no Alentejo

5.3.1 Topografia

A topografia utilizada foi obtida por digitalização das curvas de nível das cartas à escala 1/50000 abrangendo toda a área de intervenção do projecto. Essa informação teve de ser complementada a partir da digitalização, mais grosseira, de algumas curvas de nível e pontos cotados em cartas à escala 1/250000 abrangendo uma zona envolvente à área de intervenção, incluindo uma área em Espanha. Assim, obteve-se informação numa área rectangular - tal como exige o modelo atmosférico - que foi processada por intermédio de uma rotina de rectangularização de forma a produzir uma rede regular com a resolução pretendida (no caso das experiências tridimensionais apresentadas, de 4 km de resolução horizontal, num domínio de 144 km \times 144km). O processo de rectangularização utilizado é designado como um método de *curvatura contínua*, tendo-se utilizado uma *tensão* apropriada para dados orográficos (cf. Smith & Wessel, 1990).

A utilização de um domínio mais extenso que o domínio oficial de intervenção do projecto deve-se ao facto de que os processos de advecção horizontal na atmosfera serem extremamente importantes, podendo implicar alterações nas condições climáticas em zonas exteriores à área directamente afectada. É preciso realçar, no entanto o facto de que os dados fora da zona de intervenção serem de reduzida qualidade, facto que poderá ser mais importante no caso de outros parâmetros de superfície.

A topografia utilizada pelo modelo nas simulações a ser analisadas, está representada na Figura 5.1.

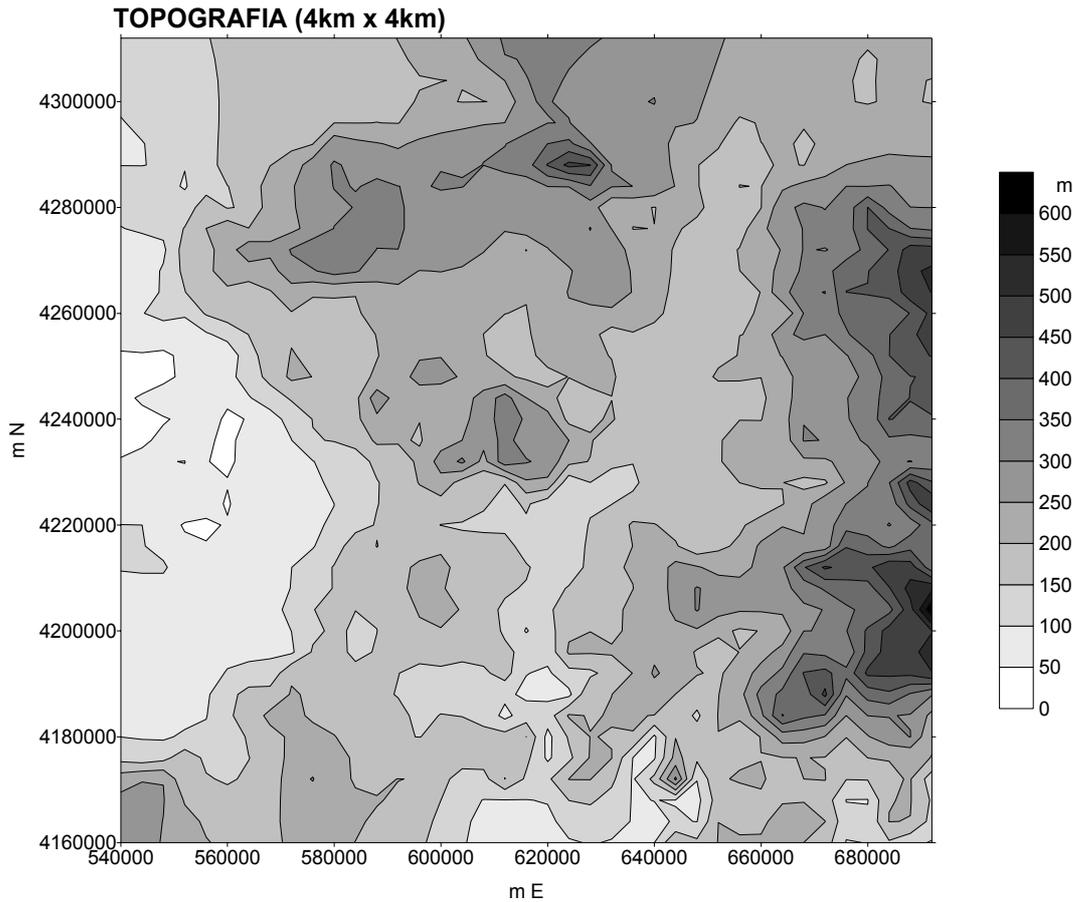


Figura 5. 6 - Topografia do modelo. Coordenadas UTM.

5.3.2 Tipo de Solo

A distribuição dos tipos de solo na zona de intervenção directa do projecto Alqueva foi digitalizada directamente para uma rede de 2km x 2km (trabalho realizado pela Equipa de Desertificação da U.N.L.) a partir de cartas de tipo de solo à escala 1/50000. Com vista à utilização dessa informação no modelo de solo utilizado (cf Secção 5.2) aquela classificação teve de ser convertida num conjunto de cartas contendo informação separada sobre a *percentagem de areia*, a *percentagem de argila* e a *profundidade do solo*. Tal como no caso da orografia, foi necessário estender a informação para um domínio rectangular consideravelmente mais extenso do que a área de intervenção directa, o que foi feito, neste caso, de forma extremamente simplista, atribuindo aos pontos da rede exteriores à área conhecida um valor médio de cada um dos parâmetros relevantes. Esta aproximação levanta alguns problemas dado se ter concluído (em simulações) a existência de significativa sensibilidade do comportamento termodinâmico da superfície à composição do solo. Pensa-se, no entanto, que o método de análise utilizado, permite eliminar uma parte do problema.

As Figuras C.1-2 mostram a carta de solos utilizada no modelo, obtida por agregação da carta a 2km \times 2km para a resolução utilizada.

5.3.3 Carta de irrigação e albufeira

A distribuição da irrigação é, como se verá, o principal elemento da perturbação climática introduzida pelo empreendimento do Alqueva. Os perímetros de rega previstos abrangem uma área bastante extensa e apresentam uma geometria muito irregular. Do ponto de vista de um modelo com resolução horizontal de 4km, essa geometria traduz-se no facto de cada elemento da rede ser parcialmente irrigado em percentagens variáveis, só ocasionalmente existindo elementos totalmente irrigados a essa escala. Assim, optou-se pela seguinte metodologia:

a) Cálculo da fracção de irrigação sobre cada elemento de 4km \times 4km (16 km²) do modelo, a partir da agregação de informação sobre irrigação em elementos com 100m \times 100m (0.01km²).

b) Admitiu-se a hipótese de que o efeito da irrigação sobre os diferentes parâmetros do solo (quantidade de água, albedo, cobertura vegetal, etc) é uma função linear da percentagem de irrigação, variando esses elementos entre um valor atribuído à zona seca e um valor atribuído à zona totalmente irrigada (cf Quadro 5.1).

c) A existência de irrigação traduz-se também pela adição regular de água, sob a forma de “precipitação” imposta. Essa adição é simulada no modelo sendo distribuída uniformemente sobre 3 horas ao fim de tarde, à taxa de 0.001mm/s (10 mm/dia). No entanto, este efeito não é muito importante numa simulação de um só ciclo diurno, dado que ele se faz sentir essencialmente na manutenção de um nível elevado de água no solo, tal como imposto na condição inicial.

No que se refere à albufeira, que apresenta uma geometria fortemente rendilhada, dada a impossibilidade de simular, com o modelo de solo utilizado, um fraccionamento da área de cada elemento de rede entre área alagada e área não alagada, foi necessário seleccionar uma geometria muito simplificada, cuja área total é semelhante à área total prevista para a albufeira cheia, mas cuja geometria é significativamente diferente, porque muito mais isotrópica e regular.

A figura 5.2 apresenta a distribuição de irrigação (sombreado com linha limite) e a localização da albufeira (zona a tracejado).

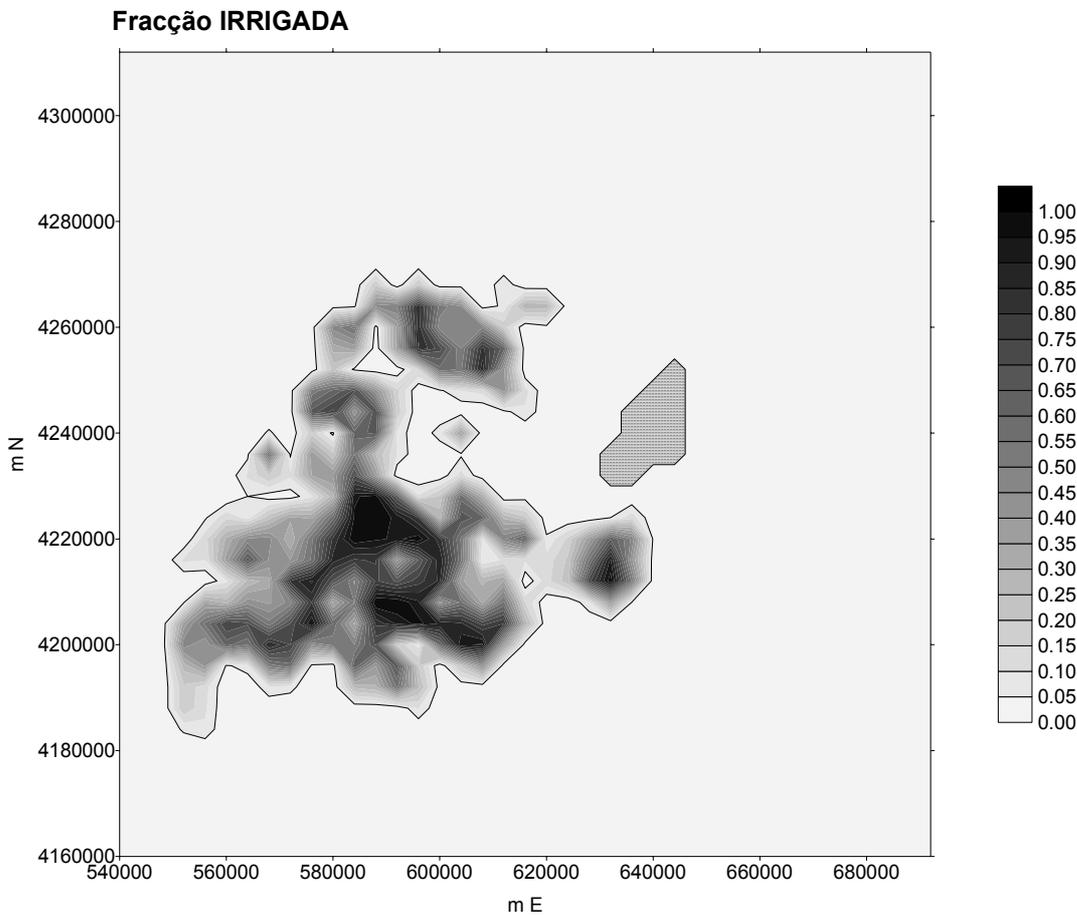


Figura 5.2 - Distribuição da irrigação e Albufeira

5.3 Análise Linearizada

Antes de entrar na análise dos resultados das simulações numéricas é útil fazer algumas considerações e cálculos simplificados, com recurso directo às equações de balanço de massa e energia no solo. Considere-se, assim, a equação de balanço da energia (1). Esta equação pode escrever-se, recorrendo a um “fecho” de primeira ordem para o cálculo da entalpia (cf Stull 1988):

$$C_G \frac{\partial T}{\partial t} = -\sigma T^4 + (1 - \alpha) \tau R_s + R_A - c_H (T - T_A) - Le - G$$

em que C_G é uma capacidade calorífica, T a temperatura da superfície, T_A a temperatura do ar a um dado nível, c_H um coeficiente de transferência de calor entre o solo e esse nível, R_A a radiação atmosférica descendente, R_s a radiação solar no topo da atmosfera,

α o albedo da superfície, τ a transmissividade da atmosfera para a radiação solar, L o fluxo de calor latente (e é a evaporação) e G o fluxo de calor para o solo.

A equação anterior pode ser utilizada para avaliar a ordem de grandeza do impacte térmico associado a uma determinada perturbação dos fluxos de energia disponível. Para o efeito considere-se a média diária da referida equação. Nesse caso o primeiro membro é muito pequeno, assim como G . Se se diferenciar a equação, após a operação de média, obtém-se uma aproximação linear para a relação entre a variação de temperatura e a perturbação da evaporação, com alguns termos adicionais associados à variação dos fluxos radiativos. Se se admitir que a alteração prevista nos fluxos de superfície não altera significativamente a temperatura T_A nem o coeficiente de transferência c_H , obtém-se:

$$0 = -\sigma 4T^3 \delta T - \alpha R_s \delta \tau - \tau R_s \delta \alpha + \delta R_A - c_H \delta T - L \delta e$$

os termos devidos à perturbação no fluxo solar descendente resultante de alteração da transmissividade atmosférica e do fluxo atmosférico descendente são muito difíceis de avaliar, dado serem muito sensíveis a alterações na nebulosidade em termos não só da nebulosidade total como do tipo e altura das nuvens, em muitos casos eles terão sinal oposto. Nesta aproximação vai aceitar-se que eles se cancelam. A alteração do fluxo solar descendente resultante de alteração do albedo pode ser avaliado, admitindo que da irrigação resulta uma ligeira diminuição de albedo (possivelmente da ordem de 5%, cf Brutsaert). Assim obtém-se:

$$L \delta e = -(4\sigma T^3 + c_H) \delta T + R_s \tau \delta \alpha$$

Introduzindo valores típicos para os diferentes parâmetros (obtidos a partir de observações referidas no Captítulo 4 e em corridas do modelo unidimensional para o cálculo do coeficiente de transferência) obtém a seguinte estimativa:

$$46 \delta T = L \delta e - 10$$

com todos os valores no sistema internacional de unidades.

Se se considerar um aumento de evaporação nos meses de Verão da ordem da ETP de Penman nesse periodo, o que é realista dado que a ETR actual é muito reduzida nesses meses e deverá atingir os valores da ETP se houver abundância de água, obtém o seguinte resultado:

$$\delta T \approx \frac{240}{46} \approx 5^{\circ} C$$

o que corresponde a todos os títulos a um impacte climático (sobre a temperatura média) muito significativo. O resultado anterior constitui, acentue-se, uma estimativa linearizada.

5.4. Simulações unidimensionais

Antes de proceder à análise de simulações tridimensionais com uma superfície realista vai proceder-se a uma análise da sensibilidade do modelo ao parâmetros escolhidos dado que existe alguma incerteza acerca do valor de alguns deles no presente e acerca da sua possível variação no futuro. Para o efeito utilizou-se um número bastante elevado de simulações quase unidimensionais, com uma rede horizontal de 9 pontos em cada direcção, com uma superfície horizontalmente homogénea em todos os aspectos incluindo ausência de relevo mas com a mesma rede vertical a utilizar nas simulações tridimensionais (60 pontos desigualmente espaçados em coordenadas σ , de tal modo que o primeiro nível do modelo se situa aproximadamente aos 33 m acima do solo). Em cada uma destas simulações fez-se correr o modelo no período correspondente a 3 ciclos diurnos, utilizando a mesma condição inicial e um forçamento radiativo idêntico à média mensal da radiação descendente (solar e atmosférica) observada na campanha de micrometeorologia realizada no decorrer do mês de Julho (cf. Capítulo 4). Dadas as limitações de espaço vão apresentar-se sómente resultados de 5 simulações.

Quadro 5. 2

Parâmetro	Exp. A1	Exp. A2	Exp. A3	Exp. A4	Exp. A5
albedo	0.25	0.25	0.25	0.2	0.2
% argila	20	20	20	20	40
L.A.I	2	2	2	4	4
Fr. Vegetação	0.2	0.4	0.2	0.8	0.8
wg (Água solo) inicial	0.12	0.12	0.05	0.3	0.3
z0	0.02	0.02	0.02	0.1	0.1

Dada a existência de homogeneidade horizontal no forçamento a partir da superfície a análise da evolução temporal das diferentes simulações vai ser feita a partir da evolução das condições observadas no ponto central do modelo. Assim, a Figura C.1 mostra a evolução da temperatura da superfície do solo no modelo ao longo do segundo e terceiro dia de simulação. Deve notar-se que esta temperatura pretende simular uma temperatura média para fins de transferência de energia no interior de um elemento de área parcialmente coberto por vegetação e, por esse motivo, é de esperar que ela apresente uma amplitude térmica algo inferior à amplitude térmica do solo nu tal como medido na campanha micrometeorológica.

Da análise da Figura C.3 pode concluir-se em primeiro lugar que o modelo apresenta em qualquer dos casos um comportamento qualitativamente correcto, com um ciclo diurno de temperatura claramente estabelecido e com uma amplitude térmica realista. Por outro lado observam-se significativas diferenças entre as simulações, com a simulação A3 a apresentar amplitudes muito mais elevadas e as simulações A4 e A5 a apresentar temperaturas médias mais baixas e menores amplitudes diárias. As diferenças observadas são todas facilmente explicáveis em termos da partição do balanço de energia em cada situação. Assim, o aumento da temperatura e da amplitude térmica observados na simulação A2 deve-se claramente à redução da quantidade de água no solo, com a consequente redução do fluxo ascendente de calor latente (que, como se verá chega a mudar de sinal), pelo que o balanço energético obriga a um aumento da quantidade de energia transferida sob a forma de entalpia, o que implica um aumento da temperatura média do solo. Nota-se que esse aumento é extremamente pronunciado para uma redução por um factor de 2 da quantidade de água. No caso das simulações A4 e A5, que representam situação com irrigação e, consequentemente, com maior fracção de cobertura vegetal, menor albedo e maior quantidade de água no solo, observa-se a situação inversa, com aumento dos fluxos de calor latente, diminuição dos fluxos de entalpia e, consequentemente, redução de Temperatura.

Comparando as simulações A1 e A2, observa-se o efeito do aumento da cobertura vegetal, visível numa diminuição da amplitude térmica diária, com redução da temperatura máxima e aumento da temperatura mínima. Quando se compara as simulações A4 e A5, observa-se muito pouca diferença. Esse facto não é surpreendente dado que o tipo de solo interfere fortemente quando existe deficit de água, verificando-se que os solos com mais argilas oferecem maior resistência à evaporação, pelo que atingem temperaturas máximas mais elevadas. Tal facto foi verificado em diversas simulações “unidimensionais” que não se apresentam por falta de espaço. No caso de

solos com abundância de água não são de esperar diferenças significativas neste aspecto.

As Figuras C.3-5 mostram, respectivamente, a evolução temporal dos fluxos de radiação resultante, de entalpia e de calor latente nas diferentes simulações unidimensionais. Os resultados obtidos estão inteiramente de acordo com a análise qualitativa esboçada anteriormente e mostram globalmente a natureza do impacte do aumento da água disponível para evaporação.

5.5 Simulações tridimensionais

Dado o elevado custo computacional de cada simulação tridimensional, e também a enorme quantidade de dados produzido por cada uma, foi necessário escolher criteriosamente as simulações a realizar e a analisar. No total correram-se 15 simulações tridimensionais com uma pequena variação dos parâmetros atmosféricos e das propriedades do solo. Os resultados obtidos, em termos de variáveis médias e alguns diagnósticos seleccionados, foram qualitativamente semelhantes. No âmbito deste capítulo, vai-se focar a atenção na análise de quatro dessas simulações tridimensionais indicadas no Quadro 5.3.

Quadro 5.3 - Simulações tridimensionais.

Simulação	Código	Características
S1	A6-35	Sem irrigação. Condições de Julho 84.
R1	A5-35	Com irrigação. Condições de Julho 84.
S2	A8-35	Sem irrigação. Condições de Maio 84.
R2	A7-35	Com irrigação. Condições de Maio 84.

Destas quatro simulações 2 (S1 e S2) correspondem ao estado de referência e duas (R1 e R2) à situação de projecto com a albufeira cheia e toda a área prevista para irrigação em funcionamento, em situações de Verão (Julho - S1 e R1) e de Primavera (Maio - S2 e R2). Para cada um destes cenários simulou-se um ciclo diurno, começando às 6h TUC, com um passo de tempo de 6s, numa rede de 37x37x60 pontos. Dado só se dispôr de informação relativamente ao ano de 1984 as considerações simuladas não pretendem corresponder a médias climatológicas.

Mesmo centrando a análise num número reduzido de simulações a quantidade de informação disponível num modelo tridimensional é excessivamente elevada para poder

ser apresentada de forma exaustiva. A análise qualitativa realizada permite, no entanto, identificar um conjunto de variáveis em que se espera impacte mais significativo que incluem, em particular:

- a) os fluxos de massa e energia na camada limite de superfície;
- b) a temperatura da superfície;
- c) a distribuição da humidade na baixa atmosfera;

Na Figura 5.3 apresenta-se a evolução do campo de anomalia da Temperatura do ar aos 2m (diferença entre a Temperatura na simulação R1 e a Temperatura na simulação S1) entre as 6h e as 22h. Os resultados obtidos são, à primeira vista, surpreendentemente elevados, mostrando-se uma tendência geral para o arrefecimento da superfície na zona irrigada, indicando um decréscimo da Temperatura Máxima da ordem dos 7 °C no centro da zona irrigada e um decréscimo da Temperatura Mínima da ordem dos 2°C na mesma zona. Este resultado aponta, pois, no sentido da descida tanto da Temperatura Média (da ordem de 4 a 5 °C) e da amplitude térmica diária (da ordem dos 5°C).

Durante a tarde, observa-se igualmente uma descida de 1 a 2 °C da Temperatura do ar a Sudeste da zona irrigada, devido ao efeito da advecção. Deve notar-se, no entanto, que a localização desta última zona depende da direcção do vento dominante, que no caso corresponde a um vento geostrófico aos 1000m com 10 m/s de Noroeste (direcção dominante nesta altura do ano). Em média, deve esperar-se um efeito advectivo mais moderado devido à variabilidade direccional do vento.

O arrefecimento produzido resulta naturalmente do aumento de água disponível para evaporação, o que se traduz num aumento do fluxo ascendente de calor latente e numa correspondente redução do fluxo de entalpia e de radiação de grande comprimento de onda associadas a um decréscimo da Temperatura da superfície. A figura 5.4 mostra o impacte produzido em termos de humidade relativa aos 2m indicando aumentos absolutos de mais de 30% sobre o centro da zona irrigada, onde o acréscimo é, em geral, superior a 20%, e aumentos acima dos 5% em toda a região a sudeste dos perímetros de rega, em resultado da advecção. Estes aumentos referem-se ao período da tarde observando-se impactes de menor intensidade, mas ainda bastante significativos, durante o período nocturno, com acréscimos acima dos 10% na zona mais afectada e da ordem dos 5% a jusante do empreendimento.

A Figura 5.5 apresenta o valor integrado da anomalia da evaporação em mm (kg/m^2) para as mesmas simulações. Neste caso, dado que a evaporação real na simulação S1 é muito reduzida (de acordo com o clima) o campo da anomalia é quase idêntico ao da evaporação prevista na simulação R1. Para comparação com os valores climatológicos pode multiplicar-se o valor obtido por 31 obtendo valores de evaporação mensal acima dos 270 mm em quase toda a área irrigada, ligeiramente acima da ETP média estimada, valor claramente realista e consistente com os pressupostos aceites neste estudo.

A Figuras 5.6 e 5.7 apresentam alguma informação sobre a circulação atmosférica na simulação R1 às 18h (após 12h de simulação). Assim, na Figura 5.6 apresenta-se o campo do vento horizontal aos 33 m acima da superfície, juntamente com a orografia do modelo. Nota-se a existência de forte perturbação do vento junto da superfície, com evidente correlação com a orografia dificultando a identificação de efeitos de brisa associados à perturbação introduzida pelo empreendimento.

Deve notar-se que a existência de orografia, é suficiente para introduzir significativas heterogeneidades horizontais em todos as variáveis meteorológicas. No caso do domínio considerado, a orografia considerada não é muito elevada, mas não é de modo nenhum desprezável em termos da circulação de mesoscala, tanto na zona do Vale do Guadiana como nas zonas mais elevadas a Leste e a Nordeste. Aliás, as observações climatológicas de vento (cf. Capítulo 3) indicam claramente a importância de factores locais na definição quer da velocidade média quer do rumo. Por esse motivo, a situação observada na simulação S1 é, semelhante em termos gerais, em resultado da quase identidade da orografia utilizada nos dois casos. Observam-se no entanto diferenças, como seria de esperar dada a perturbação termodinâmica introduzida pela irrigação e pela Albufeira. A análise dessas diferenças, que se traduzem por um efeito de brisa, é no entanto dificultada dada a forte não linearidade da resposta do campo do vento, na presença de orografia.

A orografia introduz igualmente perturbações noutras variáveis mas, como se viu anteriormente, o seu efeito, parece desaparecer completamente quando se analisam as diferenças entre os resultados obtidos na experiência R1 e S1, de tal modo que os campos das anomalias calculadas - *campos de impacte previsto* - se encontram muito pouco correlacionadas com o campo da orografia mas muito bem correlacionadas com os todos os campos de superfície alterados pelo projecto do Alqueva.

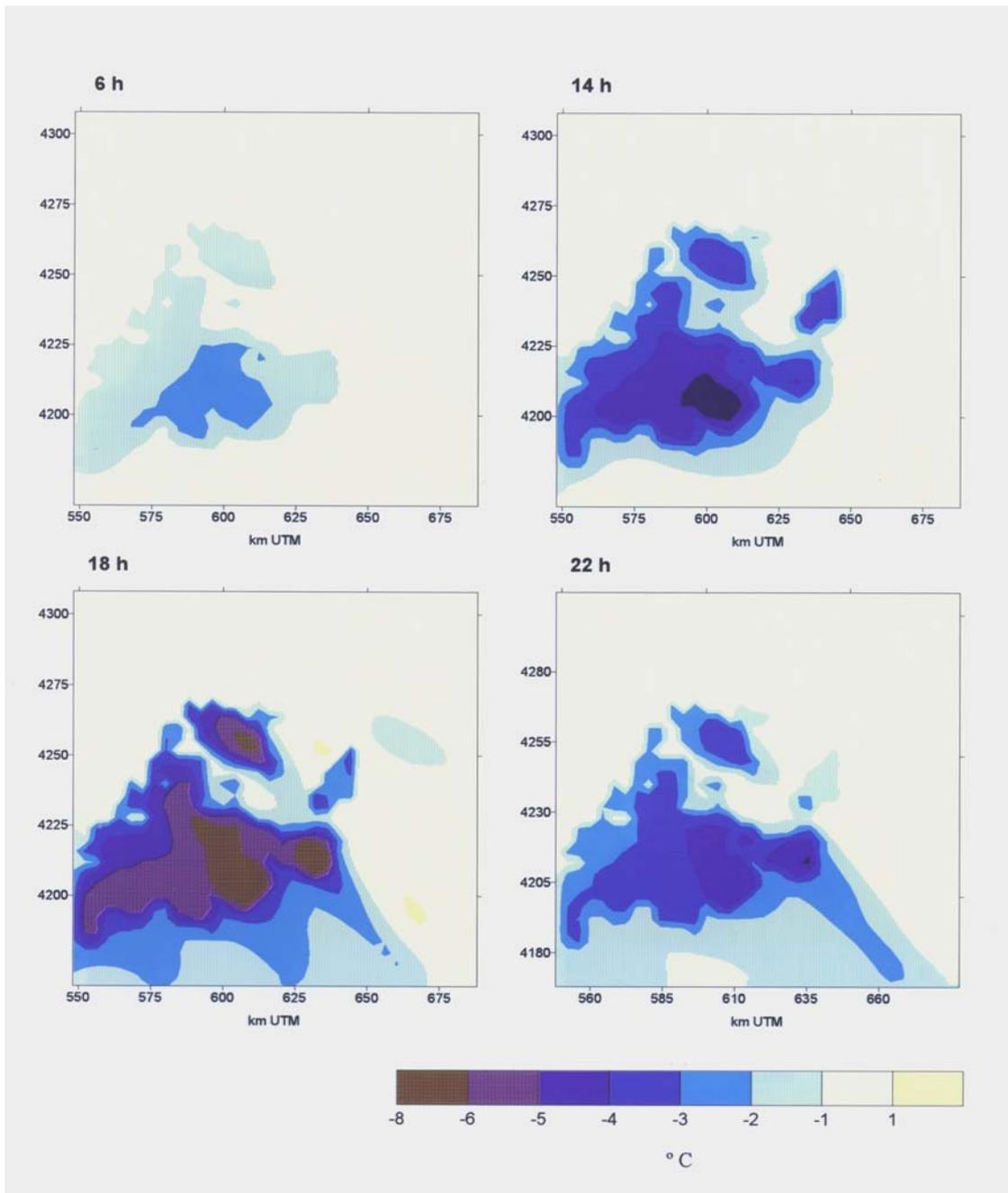


Figura 5.3 – Anomalia da Temperatura do ar aos 2m em simulações correspondentes ao mês de Julho. Forçamento atmosférico e radiativo com base em observações realizadas em Julho de 1994 na Mitra. Experiências R1(A5-35) eS1 (A6-35).

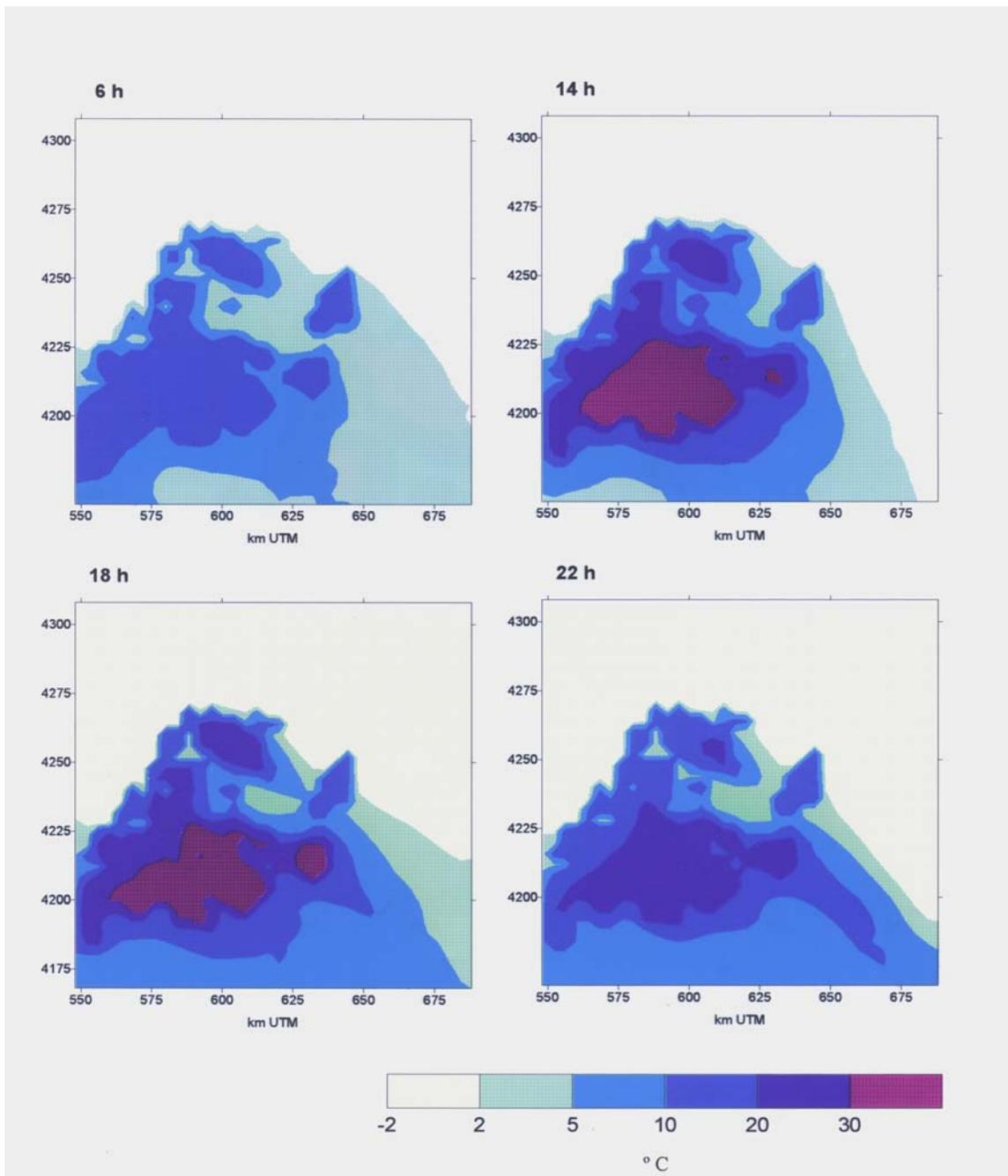


Figura 5.4 – Anomalia da humidade relativa do ar aos 2m em simulações correspondentes ao mês de Julho. Forçamento atmosférico e radiativo com base em observações realizadas em Julho de 1994 na Mitra. Experiências R1(A5-35) e S1 (A6-35).

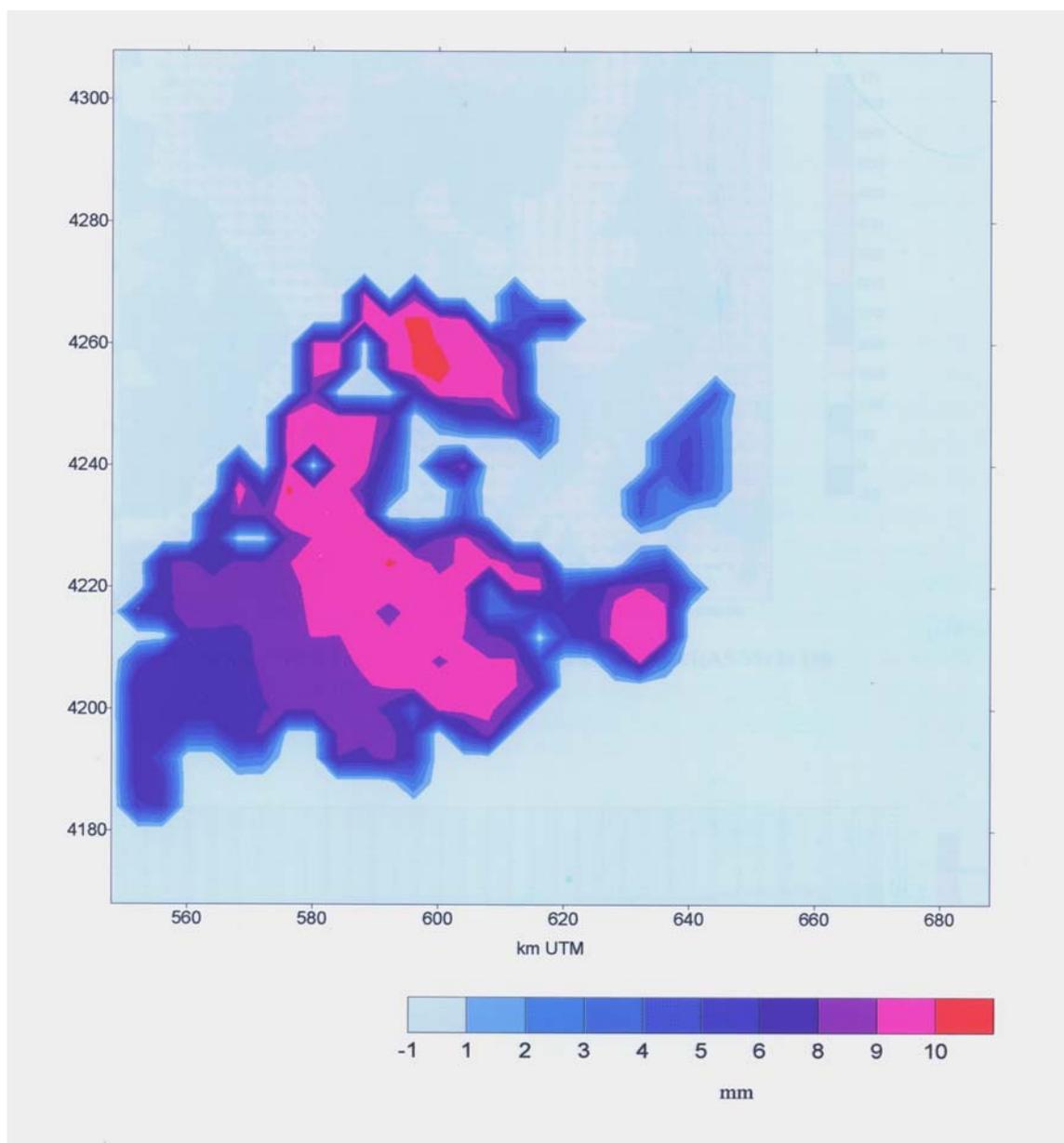


Figura 5.5 – Anomalia da evaporação diária em simulações correspondentes ao mês de Julho. Forçamento atmosférico e radiativo com base em observações realizadas em Julho de 1994 na Mitra. Experiências R1(A5-35) e S1 (A6-35).

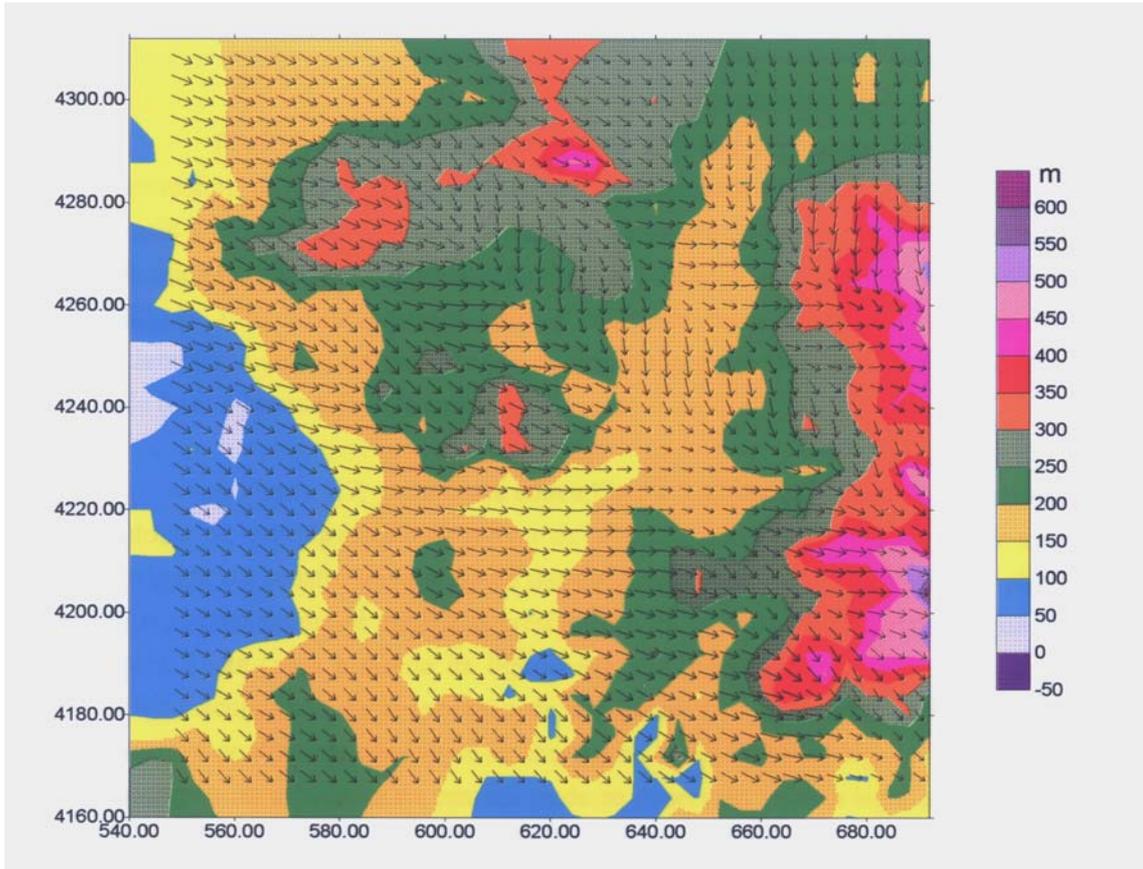


Figura 5.6 – Vento à superfície (e orografia) na simulação R1 (A5-35) às 18h.

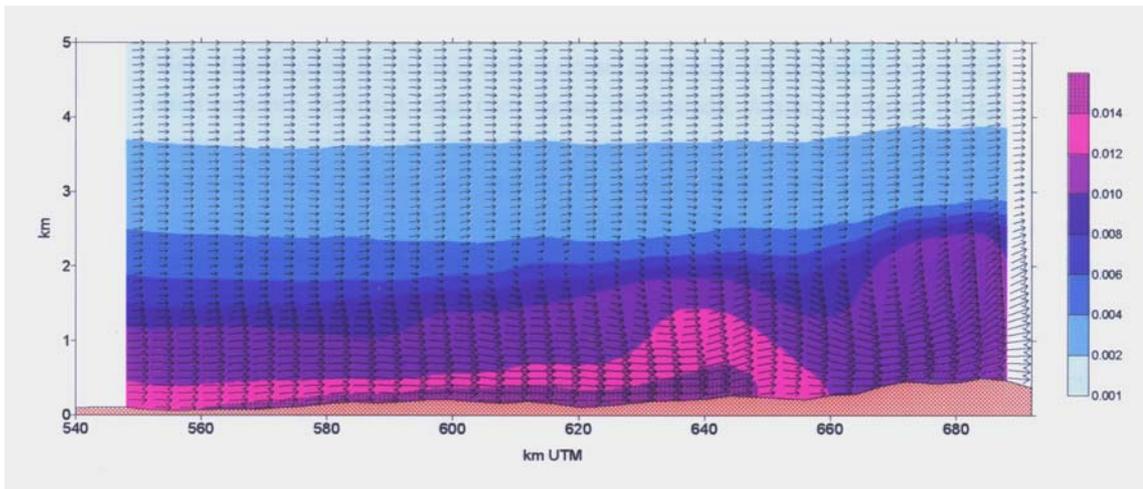


Figura 5.7 – Vento e humidade específica (kg/kg) na simulação R1 (A5-35) às 18h, no plano $y=4210$ km.

Finalmente, apresenta-se a Figura 5.7, que representa uma secção vertical da atmosfera no plano plano $y=4210$ km, atravessando na direcção Oeste-Leste o sector mais a Sul da zona irrigada. A situação apresentada, incluindo o vento no plano yz e a humidade específica (concentração de vapor de água em kg/kg) corresponde à simulação R1 às 18h. Nesta representação o efeito de brisa produzido pela zona irrigada é claramente visível na perturbação da humidade específica, com indicação de uma frente de brisa a jusante da área irrigada.

A Figura 5.7, juntamente com a Figura 5.4, põe igualmente em evidência o efeito global de *transformação de massa de ar* produzido pela passagem do ar sobre a zona irrigada e a mostra a importância das circulações secundárias geradas no plano vertical. Ao mesmo tempo, é notório o crescimento da camada limite à medida que se progride para Leste (para a direita na figura) e a sua progressiva humidificação, resultante do efeito acumulado da evaporação da superfície. Comparando a estrutura observada na entrada do domínio com a que se observa no limite da zona irrigada a Leste, infere-se um aumento da espessura da camada onde se observam valores significativos de humidade específica em cerca de 500 m. É igualmente evidente a influência orográfica na circulação, especialmente junto à fronteira Leste. Note-se, no entanto, que a escala vertical na figura é diferente da escala horizontal e que a componente vertical do vento foi multiplicada por um factor de 10 para permitir a sua visualização.

No caso das simulações realizadas com condições correspondentes ao mês de Maio (simulações R2 e S2), obtiveram-se resultados de certo modo semelhantes aos anteriormente descritos, mas com menor intensidade. Assim, a Figura 5.8 apresenta a evolução da anomalia da Temperatura nessas simulações ao longo de um ciclo diurno, indicando uma tendência no sentido do arrefecimento, que afecta principalmente a Temperatura Máxima (-3°C) e em menor intensidade a Mínima (-1°C). As restantes variáveis (humidade e evaporação) apresentam, como seria de esperar, variações proporcionais.

Em conclusão, as simulações realizadas apontam no sentido de um impacte atmosférico caracterizado por:

a) diminuição da temperatura do ar junto à superfície, afectando essencialmente a temperatura máxima (e, em consequência, a temperatura média);

- b) diminuição da amplitude térmica diária;
- c) aumento da humidade relativa;

- d) geração de efeitos de brisa.

A intensidade dos impactes anteriores é fundamentalmente condicionada pelo aumento de evaporação tornado possível pela irrigação. Tanto no caso das simulações de Maio como no caso das simulações de Julho considerou-se um solo inicialmente próximo da capacidade de campo nos perímetros de rega e bastante seco (especialmente em Julho) fora desses perímetros. Nas simulações, os valores do conteúdo de água do solo em cada elemento da malha são, no entanto, normalmente bastante inferiores à capacidade de campo, dado esses elementos serem considerados como *parcialmente irrigados*, tal como foi descrito anteriormente. No mundo real, o conteúdo médio de água no solo vai ser determinado pela política de rega e espera-se uma maior disponibilidade relativa (e absoluta) de água no meio do Verão do que na Primavera (cf Cap 3), aceitando-se geralmente evaporações reais acima da ETP em Julho e claramente abaixo da ETP em Maio. Em consequência, a estimativa de impacte para o mês de Julho parece ser bastante realista enquanto que a estimativa apresentada para o mês de Maio está provavelmente sobreestimada, quando comparada com valores médios mensais.

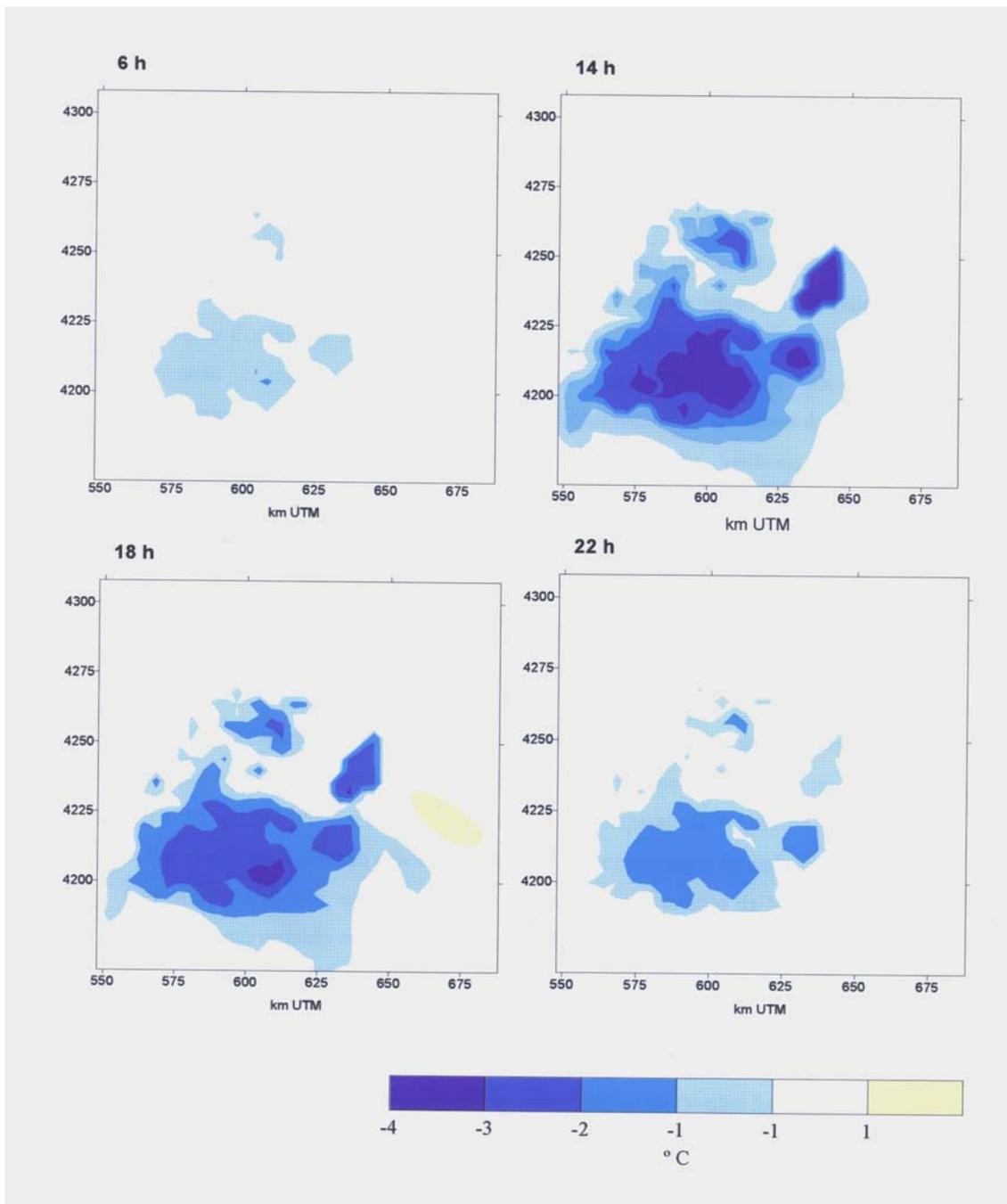


Figura 5.8 – Anomalia da Temperatura do ar aos 2m em simulações correspondentes ao mês de Maio. Forçamento atmosférico e radiativo com base em observações realizadas em Maio de 1994 na Mitra. Experiências R2(A7-35) e S2 (A8-35).

5.6 Simulações pontuais com forçamento atmosférico

As simulações tridimensionais apresentadas anteriormente não podem ser facilmente estendidas para períodos de tempo muito maiores que alguns ciclos diurnos. Por essa razão é muito difícil recorrer a essa metodologia para obter estimativas do ciclo anual do impacte ou da sensibilidade do sistema a variações lentas mas cumulativas das condições fronteira. Por essa razão foi desenhado um esquema alternativo de simulações, utilizando o modelo de superfície descrito neste capítulo com um forçamento atmosférico e radiativo imposto com base em observações. Desta forma é possível obter facilmente séries temporais de evolução das diferentes variáveis da superfície (Temperatura, teor de água, fluxos de massa e energia) ao longo de meses e analisar o seu comportamento em face de alterações do forçamento. Por outro lado, é evidente que esta aproximação despreza os processos de *feedback* solo-atmosfera e obriga a que o impacte na atmosfera (aos 2m) seja inferido qualitativamente a partir dos impactes estimados na superfície.

O forçamento atmosférico a utilizar neste conjunto de simulações tem como base uma série de observações meteorológicas realizadas no decorrer de 1994 no Alentejo, já descritas no Capítulo 4, e compreende valores de Temperatura, Humidade Relativa do ar e Vento aos 2m, Radiação descendente de grande comprimento de onda, Radiação Solar Global e Precipitação, medidos de 10 em 10 minutos na estação da Mitra (Évora) num período compreendido entre fim 21 Março de 1994 e princípio 31 de Dezembro de 1994. Os valores iniciais do teor de água no solo não são conhecidos, pelo que se partiu do princípio de que o solo se encontrava saturado no início. Na verdade o sistema revela pouca memória a esses valores dado o período seco ocorrido até ao fim do mês de Maio. O conjunto de simulações realizado encontra-se descrito no Quadro 5.4.

Assim, a simulação P1 refere-se à situação de referência (valores observados sem irrigação). A simulação P2 à situação esperada com o Projecto desenvolvido (num ponto irrigado). A simulação P1a tenta analisar a sensibilidade do sistema a uma variação das condições atmosféricas e radiativas traduzidas por um aumento de 2°C na

Temperatura média e de 5Wm^2 na radiação descendente. Finalmente, a simulação P2a faz a mesma análise no caso de um ponto irrigado.

Quadro 5.4 - Simulações pontuais

Simulação	Irrigação	Forçamento Térmico	Forçamento Radiativo	Obs
P1	NÃO	0	0	Sit. Referência
P2	SIM	0	0	Projecto
P1a	NÃO	+2 °C	+5 Wm^{-2}	Aquecimento Global
P2a	SIM	+2 °C	+5 Wm^{-2}	idem, Irrigado

Em todas as simulações com irrigação optou-se por uma política de rega baseada no conteúdo instantâneo de água no solo, procedendo-se a uma rega, à intensidade de 10mm/h sempre que o teor de água no solo descesse abaixo de 50% do valor da água utilizável pelas plantas e prosseguindo essa rega até restabelecer a capacidade de campo. Admitiu-se um valor de 36% (em volume) para a capacidade de campo e de 17% para o Coeficiente de emurchecimento permanente. A rega é efectuada no período compreendido entre 1 de Maio e 31 de Agosto.

As simulações P1a e P2a (cujos resultados se destinam a ser comparados com os das simulações P1 e P2, respectivamente) tentam responder, ainda que de forma algo simplista ao problema da resposta do sistema em face de condições de aquecimento global associado ao *efeito de estufa*. Os incrementos considerado para a Temperatura da ar e para a Radiação descendente correspondem aos estimados pelo IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change, 1990) num *Cenário Médio* para o ano de 2050.

As Figuras 5.9 a 5.12 apresentam alguns resultados obtidos neste conjunto de simulações. Comparando os resultados produzidos nas simulações P1 e P2 verificam-se diferenças de cerca de 10 graus na Temperatura máxima no verão, com arrefecimento associado á irrigação, e de cerca de 3 graus na Temperatura mínima. Estes resultados são mais elevados do que os obtidos nas simulações tridimensionais o que resulta essencialmente de dois factores: inexistência de *feedback* atmosférico e o facto de nestas simulações se ter considerado o ponto de simulação completamente irrigado. O

primeiro efeito é mais importante, uma vez que nas simulações tridimensionais existem alguns pontos quase totalmente irrigados. Qualitativamente pode estimar-se que o impacte real será da ordem de 2/3 do valor estimado por este processo.

No que se refere à evolução do teor de água no solo e à contabilização dos termos do balanço hídrico (Evaporação, Precipitação e Irrigação) observa-se o impacte produzido pelo processo de irrigação, com os valores do teor de água no solo na simulação P1 a variar entre 0.1 e 0.15, apesar de o solo ter sido inicializado completamente saturado ($w_g=w_2=0.41$) em todas as simulações, e a estabilizar em torno de 0.3 no caso irrigado e durante o período de rega. Sem irrigação, o teor de água no solo decresce muito rapidamente durante os últimos dias de Março e todo o mês de Abril, o que resulta do facto de o ano considerado (1994) ter sido extremamente seco nesse período. A evolução diária do teor de água no solo (Figura 5.12) mostra de forma clara a política de rega utilizada. Nesta Figura observa-se uma única situação em que o teor de água excede o valor estabelecido pelo método de rega, em resultado da ocorrência de precipitação no final do mês de Maio. Mesmo nesse caso o escoamento superficial inferido é muito pequeno.

Os valores calculados para a precipitação na simulação P1 são praticamente nulos durante o período de Verão enquanto que no caso da experiência P2 se observam valores próximos da ETP como seria de esperar.

Finalmente, comparando os resultados das simulações P1/P2 com as simulações P1a/P2a podem tirar-se as seguintes conclusões: a temperatura da superfície acompanha a variação imposta da temperatura do ar (P1 vs P1a); a água no solo diminui ligeiramente no caso das simulações P1a e P2a, como seria de esperar dado o aumento de energia disponível; na presença de irrigação o impacte térmico é reduzido a metade do seu valor (comparação P1-P2 vs P1a-P2a). Esta redução do impacte térmico é, no entanto, obtida à custa de um aumento de evaporação especialmente em Julho e Agosto, em que se estima um acréscimo de 20% no valor da ETP mensal. Em conclusão, a irrigação tem um efeito moderador sobre o aquecimento global, à custa de um aumento das taxas de evaporação (e portanto das dotações de rega).

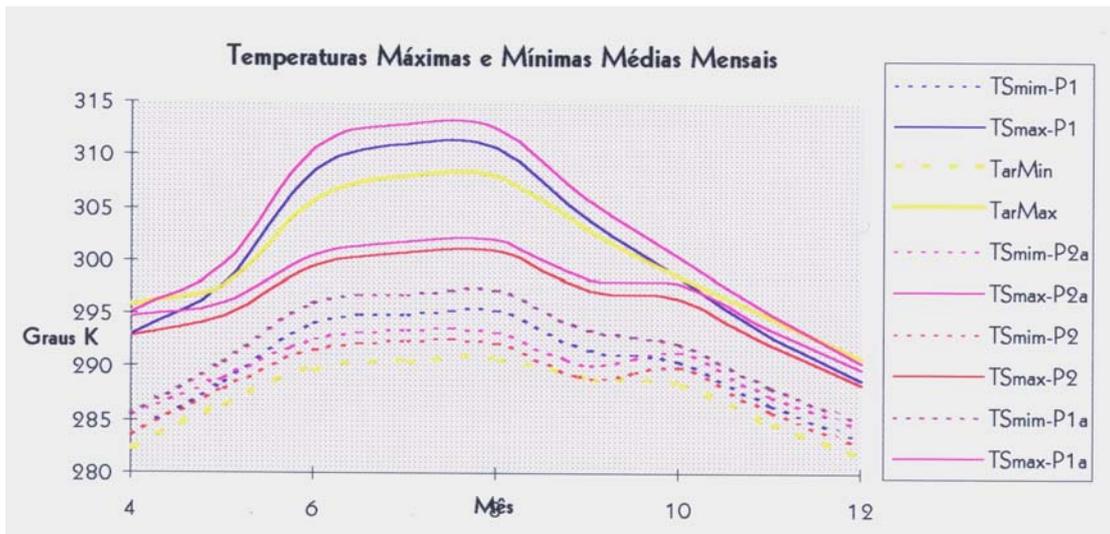


Figura 5.9 – Evolução das Temperaturas Mínima e Máxima da Superfície e do ar aos 2m nas simulações pontuais. Valores médios mensais.

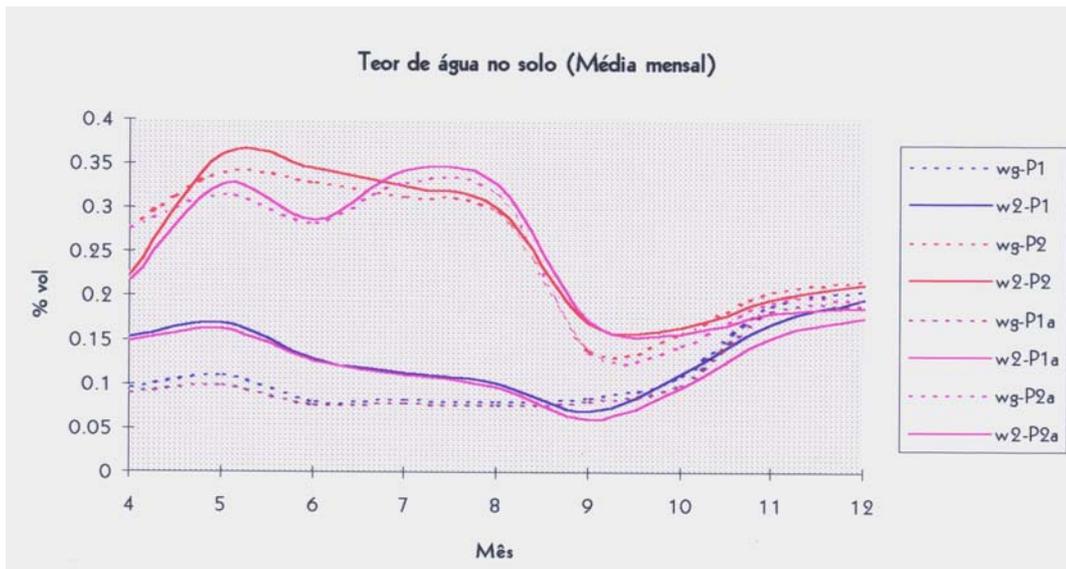


Figura 5.10 – Evolução do teor de água superficial e profunda no solo nas simulações pontuais. Valores médios mensais.

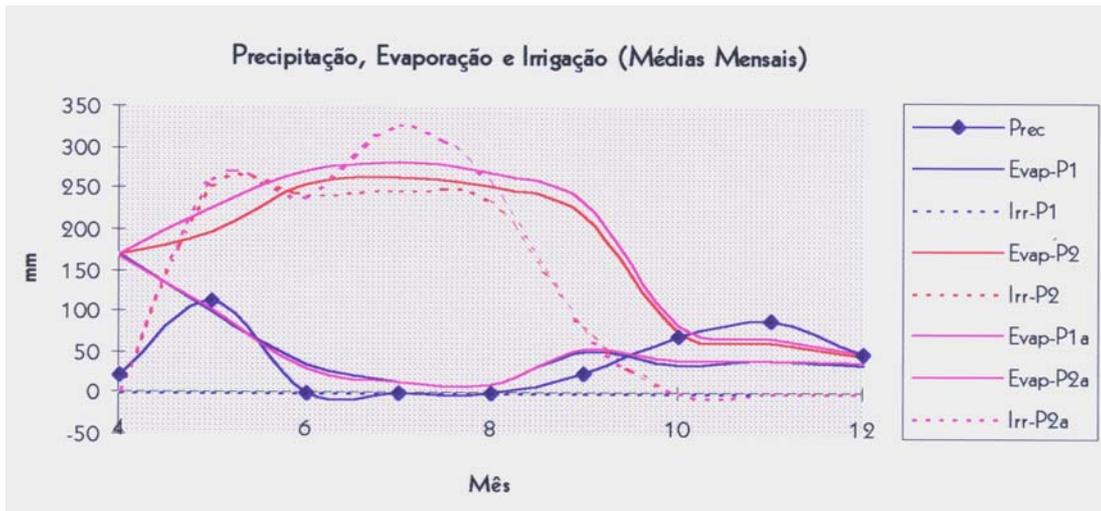


Figura 5.11 – Evolução do teor de água superficial e profunda no solo nas simulações pontuais. Valores médios mensais.

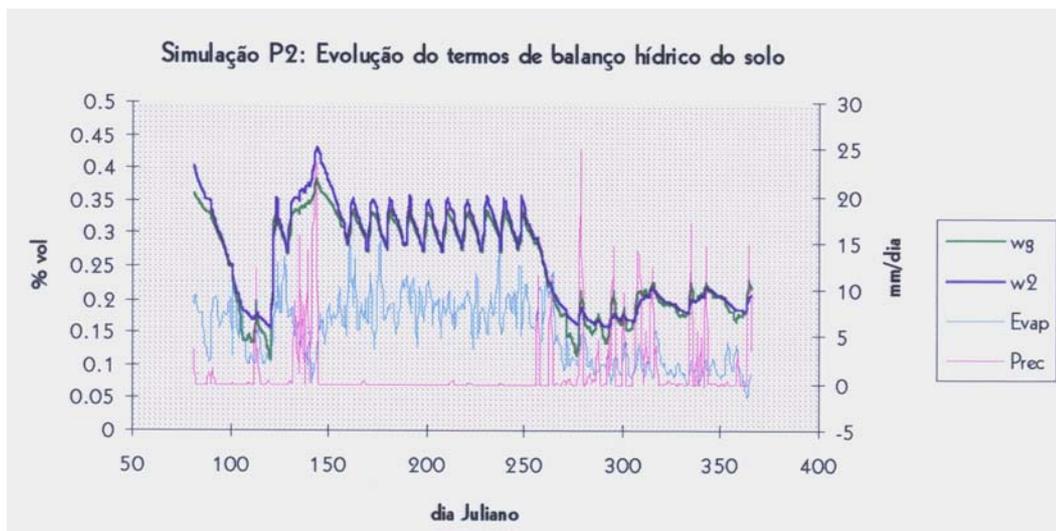


Figura 5.12 – Evolução do teor de água superficial e profunda no solo e da Precipitação e Evaporação nas simulações pontuais. Valores diários.

No caso seco, como seria de esperar não se observa diferença nas evaporações reais, dado que estas são limitadas pela água disponível, que se encontra em qualquer caso num nível muito baixo.

5.7 Impacte Agrometeorológico

Neste estudo utiliza-se um modelo matemático adaptado a um cereal C₃ (Abreu, 1994). Pretende-se *exemplificar* o impacte na produção vegetal resultante tanto da introdução de regadio como da modificação do ambiente agrometeorológico das culturas prevista pelas simulações do sistema solo-atmosfera.

5.7.1 Metodologia

Este modelo pressupõe que as operações culturais são as mais convenientes, que a nutrição mineral não é limitante e que as pragas e doenças têm influência reduzida no crescimento. Utilizaram-se os dados meteorológicos de Évora para o período de 1961 a 1990. Os elementos de entrada para o modelo foram a precipitação, as temperaturas máxima e mínima, a insolação real, a velocidade do vento e a humidade do ar. O coeficiente de emurchecimento permanente do solo, a capacidade de campo e a massa volúmica aparente do solo foram estimadas a partir dos dados de Cardoso (1965) para solos mediterrâneos; utilizaram-se os valores de 20%, 36% e 1,2 t m⁻³, respectivamente. Quanto à profundidade máxima atingida pelas raízes consideraram-se duas situações com espessuras do solo de 0,5 m e 0,8 m, respectivamente. Fizeram-se várias simulações para caracterizar a situação de referência e avaliar o impacte do Empreendimento em termos de produção vegetal.

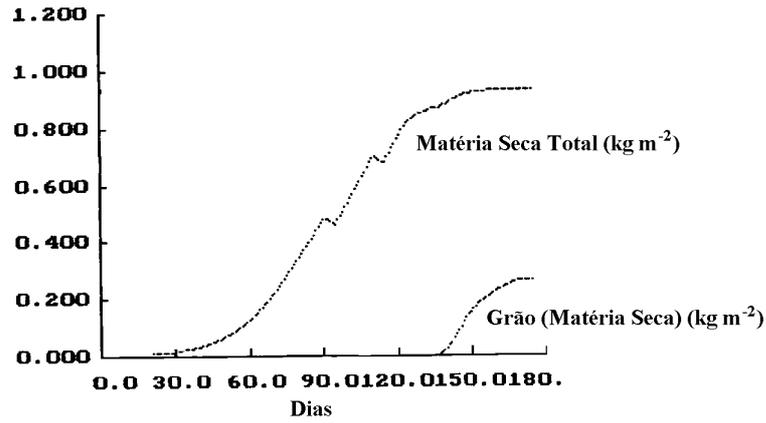
5.7.2 Simulações

A situação de referência foi caracterizada fazendo-se simulações para os 30 anos do período 1961 a 1990. A produção total de matéria seca (\pm desvio padrão), para

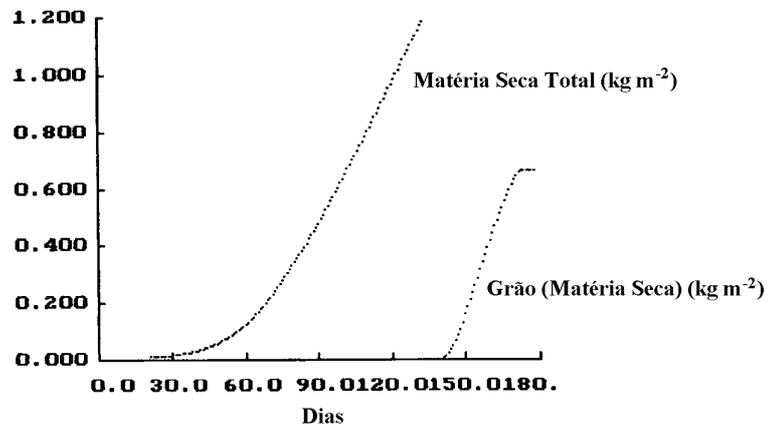
solos de 0,5 e 0,8 m de profundidade foi de, respectivamente, 8350 ± 530 kg/ha e 10960 ± 530 kg/ha. A estes valores corresponde uma produção de grão de 3290 ± 230 kg/ha e 4250 ± 260 kg/ha. A simulação resultante da utilização directa dos valores das normais climatológicas para o mesmo período conduz a valores diferentes por excesso, devido à assimetria da distribuição da precipitação: matéria seca total de 9280 kg/ha e 13220 kg/ha, e grão de 3470 kg/ha e 4950 kg/ha, respectivamente para 0,5 e 0,8 m de profundidade do solo (Figura 5.13).

Para a aviação do impacte do Empreendimento, considerou-se um cenário em que a água estaria disponível para a cultura sempre que esta o requeresse. Além disso, admitiu-se a humedificação do ar prevista na simulação solo-atmosfera e uma redução da temperatura ambiente. Para o período desde o início da Primavera até meados do Verão, considerou-se um decréscimo *médio* da temperatura máxima de 3°C e da temperatura mínima de 1°C. Admitiu-se uma profundidade média do solo de 0,5 m, o que neste caso é praticamente irrelevante. Como se pode ver na Figura 5.13, a produção total simulada de matéria seca é de 17400 kg/ha e a de grão atinge os 8620 kg/ha.

Este impacte positivo sobre a produção reflecte-se também no índice de colheita e na qualidade do grão (peso específico). Maiores decréscimos de temperatura ou acréscimos de humidade do ar favorecerão ainda mais o impacte. Estas simulações não consideraram um ciclo anual do impacte atmosférico, que se pode estimar a partir das simulações apresentadas nas secções anteriores, tendo-se optado por um valor médio de impacte a partir de uma avaliação por defeito do impacte previsto.



(a) Situação de referência (solo de 0.5 m)



(b) Situação com Alqueva (solo de 0.5m, água não limitante)

Figura 5.13 - Produção de matéria seca e de grão em simulações agrometeorológicas para um cereal C₃.

5.8. Discussão

O problema do impacte climático do empreendimento do Alqueva é extremamente complexo e este estudo não tem a possibilidade de abordar todas as suas facetas nem de responder definitivamente às questões fundamentais. Muitas das questões colocadas são actualmente tema de investigação na comunidade científica e não têm ainda uma solução claramente estabelecida. Neste contexto, as considerações e os resultados apresentados devem ser entendidos como uma tentativa, técnica e cientificamente justificada, de identificar os principais mecanismos físicos que vão ser perturbados, determinar a natureza dos impactes fundamentais esperados e, dentro de certos limites, estimar a sua amplitude.

Considerando os resultados apresentados tem de concluir-se que o principal mecanismo físico que será perturbado é a partição do fluxo de energia na camada limite entre o fluxo de entalpia e o fluxo de calor latente, com aumento deste último a impôr uma diminuição do primeiro. Em termos de mudança climática, a perturbação introduzida, terá como consequência uma significativa diminuição na temperatura média do solo no Verão na zona irrigada, traduzida principalmente por uma redução da temperatura máxima, e uma humidificação da camada limite atmosférica a jusante na área de evaporação.

O valor calculado para o impacte térmico é claramente consistente com a análise linearizada da equação de balanço da energia apresentando na secção 5.3, como se pode verificar introduzindo o valor da anomalia de precipitação prevista, ou simplesmente da ETP estimada. No entanto, deve notar-se que este valor apresenta, nos modelos, alguma sensibilidade a alguns dos parâmetros escolhidos, em particular ao conteúdo inicial de água no solo e mesmo ao valor do comprimento de rugosidade (cf Braud et al 1993). Uma escolha mais fundamentada desses parâmetros exige a realização de um programa de investigação a médio prazo com observações e simulações.

As simulações apresentadas permitiram igualmente mostrar a importância das circulações secundárias no estabelecimento dos campos de humidade e temperatura previstos, em particular em situações de evaporação intensa. Em condições favoráveis estas situações podem dar origem ao aparecimento de formas de “efeito de oásis”. Efeitos semelhantes encontram-se referidos na literatura da especialidade (Pielke e Segal 1986). Tal facto vem reforçar a necessidade de se recorrer a uma ferramenta de diagnóstico potente, como é um modelo de mesoscala, capaz de simular - ainda que

parcialmente - a complexa cadeia de interações existente no sistema atmosfera-plantas-solo. Por outro lado, a complexidade observada mostra mais uma vez a necessidade de proceder a um programa de investigação a médio/longo prazo, que aborde a problemática do impacte ambiental de alterações do uso do solo no Alentejo, sem os constrangimentos impostos ao presente estudo.

Por outro lado encontraram-se indícios de um efeito de brisa significativo, produzido pelas alterações de ocupação do solo, actualmente referido na literatura sob a designação de *circulação não clássica de mesoscala* (Segal & Arritt, 1992) e objecto de interesse crescente. Estas circulações podem, nalguns casos, reforçar a convecção afectando de forma mais profunda o clima local.

Do ponto de vista agrometeorológico, que é a principal razão da execução do projecto, esperam-se, como não poderia deixar de ser, importantes impactes positivos directamente associados ao aumento da disponibilidade de água e indirectamente à diminuição de temperatura do ar e ao aumento da humidade relativa do ar no período quente. A total utilização desse potencial de impacte positivo depende essencialmente da capacidade de gerir correctamente a água, i.e. a política de rega, em face das reais disponibilidades em termos de afluências.

Na fase actual não é possível simular todos os aspectos relevantes do complexo problema do impacte climático do Alqueva. Por um lado existe um grande desconhecimento do estado de referência: caracterização do solo, cobertura vegetal, circulação atmosférica e estrutura da camada limite ao nível meso e microscala, em particular a distribuição espacial dos balanços de massa e energia ,etc. Por outro lado não é possível, num prazo de tempo razoável e com a necessária fiabilidade, realizar simulações muito mais realistas.

Os principais processos não considerados neste estudo são, muito provavelmente, a precipitação e a interacção nuvens/radiação, cujos efeitos são, no entanto muito difíceis de prever tanto em termos qualitativos como por meio de modelos numéricos (cf. Dickinson, 1992). No entanto, existem diversos estudos, na literatura, que sugerem que a irrigação de regiões áridas ou semiáridas pode modificar o regime da precipitação na zona irrigada e nas regiões circundantes (Anthes, 1984). Não existe, porém, consenso quanto à magnitude desta influência. Alguns estudos observacionais apontam para aumentos de precipitação no verão da ordem dos 30% ou superiores (eg. Rosenan, 1963, em dados sobre Israel; Schickedanz, 1976, Texas),

enquanto outros detectam aumentos que não são estatisticamente significativos (eg. Fowler e Helvey, 1974, em dados sobre a região de Washington). Por outro lado, sabe-se que a resposta da atmosfera à irrigação depende criticamente do estado sinóptico prevalente, pelo que as áreas onde predominem depressões estarão sujeitas a um maior aumento de precipitação do que zonas onde predominem os anticiclones. A orografia bem com a geometria da área irrigada desempenham igualmente um papel decisivo (Anthes, 1984).

No caso do Alentejo é extremamente difícil fazer uma estimativa qualitativa do impacte na precipitação. Actualmente a quantidade de chuva convectiva no Verão é extremamente reduzida e não existe qualquer empreendimento anterior de dimensão significativa que possa ser analisado. Este é, claramente, um tópico a merecer estudo posterior e acompanhamento.

6. Conclusões

O essencial das conclusões deste estudo de impacte climático do empreendimento de Alqueva foi sendo discutido ao longo do texto. Neste capítulo vai unicamente apresentar-se um sumário das principais conclusões.

Assim, da análise da situação de referência resulta a existência de uma situação de grande deficit hídrico, especialmente acentuada nos meses de Verão, e de condições climáticas caracterizadas por grande variabilidade interanual da precipitação e amplitudes térmicas relativamente elevadas.

O impacte climático previsto pode ser sucintamente caracterizado pelos seguintes efeitos:

1) Aumento substancial da Evaporação Real em toda a zona irrigada e na zona alagada, podendo atingir localmente valores superiores ao valor climatológico da Evapotranspiração Potencial (ETP). O valor médio sobre a zona irrigada, que inclui áreas só parcialmente regadas, é da ordem da ETP.

2) Redução de temperatura da ar aos 2m no Verão, traduzida numa redução substancial da Temperatura Máxima (da ordem de -7°C) e da Amplitude Térmica Diária (da ordem de -5°C) na zona irrigada..

3) Aumento da humidade relativa do ar aos 2m, atingindo valores da ordem dos 30% no Verão, durante a tarde, na zona irrigada.

4) Concluiu-se igualmente da possibilidade de ocorrerem impactes numa região a jusante da área de evaporação (do ponto de vista do escoamento atmosférico), devidas à alteração da estrutura da camada limite produzida pelo processo de evaporação. Estes impactes são sempre de menor magnitude e tenderão a diminuir com a distância ao empreendimento. Existe, no entanto, uma faixa significativamente afectada (arrefecida e humidificada) com uma extensão de algumas dezenas de kms. Em termos médios - i.e. em condições de vento de direcção variável - este efeito será mais reduzido.

5) Do ponto de vista da circulação atmosférica, concluiu-se da provável existência de alterações no vento à superfície que, dada a presença de uma orografia

complexa são difíceis de caracterizar em termos de um efeito de brisa claramente definido. Apesar disso existem outros sinais da formação de uma brisa.

6) Finalmente, concluiu-se que os impactes climáticos serão, em primeira aproximação, proporcionais à taxa de irrigação que vier a ser estabelecida, o que permite avaliar de forma qualitativa o seu ciclo anual. Assim esperam-se impactes no período da Primavera e Verão (períodos em que será efectuada rega), sendo os impactes esperados para a Primavera de menor intensidade (possivelmente 1/3 dos estimados para o verão). No período do Outono poderá existir algum impacte associado à alteração introduzida no teor de água no solo, mas a sua magnitude será provavelmente reduzida.

Os impactes fundamentais (2,3) terão de ser avaliados do ponto de vista as diferentes comunidades e interesses afectados: nomeadamente o conforto humano, produtividade agrícola, ecologia, etc. Essa avaliação está fora do âmbito do presente Anexo Técnico, excepto no caso do impacte agrícola oportunamente apresentado e que foi naturalmente considerado como muito positivo.

No que se refere ao conforto humano, pode, no entanto, adiantar-se que, a aceitar-se o critério seguido pelo Ministério do Ambiente no traçado de cartas de conforto climático, e que se baseia simplesmente no cálculo da entalpia específica do ar, os impactes são negativos uma vez que apontam para um aumento da entalpia específica no Verão. No entanto, se se considerar o método proposto por Olgyay (cf Barry & Chorley 1987) ou a tabela de conforto proposta pelo National Weather Service/NOAA (Moran & Morgan 1994) chega-se à conclusão oposta, prevendo uma melhoria significativa do conforto humano na região afectada.

6.1. Recomendações

Em face da avaliação feita, pode concluir-se que o Impacte Climático terá uma intensidade muito significativa, quando comparado com a variabilidade natural do sistema, independente da sua avaliação qualitativa em relação cada comunidade afectada. Por outro lado ele é com certeza um elemento fundamental para a futura gestão do projecto, tanto em termos de planificação das necessidades globais de água como da planificação concreta das políticas de rega a implementar. A amplitude das alterações esperadas reforça a necessidade de um investimento continuado na monitorização e estudo micro e mesometeorológico do clima do Alentejo.

Assim, recomenda-se a adopção de medidas que permitam um acompanhamento continuado da evolução do clima do Vale do Guadiana e a preparação de uma base de dados, incluindo pelo menos informação meteorológica, hidrológica, de solos e de evolução da cobertura vegetal, suficiente para o aprofundamento do estudo do impacte climático de alterações da utilização do solo e da disponibilidade hídrica. Recomenda-se igualmente que a informação a recolher seja adquirida desde já, no sentido de permitir melhorar o conhecimento da situação do estado de referência, essencial para uma futura monitorização dos impactes, e que seja posta rapidamente ao dispor da comunidade científica, permitindo a realização de investigação nas diversas áreas directamente afectadas.

Referências

- Abreu, J. P. M. (1994) - *Modelo de crescimento e produção do trigo em condições mediterrânicas*. Tese de Doutoramento, I.S.A., Lisboa.
- Anther, R. (1984): Enhancement of convective precipitation by mesoscale variations in vegetative covering in semiarid regions. *J. Climate App. Meteor.*, **23**, 541-554.
- Arya, S. P. (1988) - *Introduction to Micrometeorology*. Academic Press.
- Azevedo, A. L. (1971) - A classificação climática de Koppen. *Agrosilva* (Nova Lisboa): 55-60.
- Azevedo, A. L. (1980) - An attempt to characterize the mediterranean climate with a special reference to the case of continental Portugal. *Portugaliae Acta Biologica*, **16**, 11-18.
- Barry, R.G. and Chorley, R.J. (1987): *Atmosphere Weather and Climate, 5th ed.* Methuen, London, 460pp
- Braud, I., Noilhan, J., Bessemoulin, P., Mascart, P., Haverkamp, R., Vauclin, M. (1993): Bare-ground surface heat and water exchanges under dry conditions: observations and parametrization. *Boundary Layer Meteorology*, **66**, 173-200, 1993.
- Brutsaert, W. (1984) - *Evaporation into the atmosphere*. Kluwer Academic Publishers.
- Cardoso, J. V. J. C. (1965) - *Os solos de Portugal*. 1 - A Sul do Rio Tejo. Secretaria de Estado da Agricultura.
- Dickinson, R. (1992a) - Changes in Land Use. in *Climate System Modelling*, ed. By K. Trenberth.
- Dickinson, R. (1992b) - Land Surface. in *Climate System Modelling*, ed. By K. Trenberth.
- Doorenbos, J. & Kassam, A. H. (1979) - Yield response to water. FAO Irrigation and Drainage Paper 33.
- Doorenbos, J. & Pruitt, W. O. (1977) - Crop water requirements. FAO Irrigation and Drainage Paper 24.
- Fowler, W.B. and Helvey, J.D. (1974) - Effect of large scale irrigation on climate in the Columbia basin. *Science*, **84**, 121-127.

- Garratt, J.R. (1992) - The Atmospheric Boundary Layer. Cambridge University Press.
- Goutorbe, J.P. (1988) - A Critical Assesment of the Samer Network Accuracy. *in Land Surface Evaporation Mesurement and Parametrization*, ed. by T. Scmugge and J.C.André. Springer-Verlag.
- Mendes, J.C. e Coelho, M.F.E.S (1993) - Variabilidade Climática em Portugal Continental - Quantidade de Precipitação - Índice Regional de Anomalia; tendência; variabilidade dos decénios e triénios. Monografia N°43 do I.N.M.G..
- Miller, M.J. and White, A.A. (1984): On the non-hydrostatic equations in pressure and sigma coordinates. *Quarterly J. Royal Meteorological Society*, **107**, 1775-1800.
- Miranda, P.M. and James, I.N. (1992): Non-linear three-dimensional effects on gravity-wave drag: Splitting flow and breaking waves. *Quarterly J. Royal Meteorological Society*, **118**, 1057-1081.
- Monteith, J. L. (1965) - Evaporation and environment. In G. E. Fogg (ed) *The State and Movement of Water in Living Organisms*, Soc. Exp. Biol. Symp. 19, academic Press, N. Y.
- Monteith, J. L. (1981) - Climate variation and the growth of crops. *Quart. J. R. Met. Soc.* **107**:749-774
- Monteith, J. L. (1986) - How do crops manipulate water supply and demand? *Phil. Trans. R. Soc. Lond. A* **316**:245-259
- Monteith, J. L. & Unsworth, M. H. (1990) - *Principles of environmental physics*. 2nd edition, Edward Arnold.
- Moran, J.M and Morgan, M.D. (1994): *Meteorology - The Atmosphere and the Science of Weather*. MacMillan C.Pub.Comp. N.Y., 520pp.
- Moreira,M.E. (1986): "Microclimas na Z.A.P.". DRENA,EGF.
- Moreira,M.E. (1986): "Características climáticas gerais e regionais do sector português da bacia hidrográfica do rio Guadiana". DRENA,EGF.
- Murteira,B. (1986): "Estudo estatístico da precipitação em Beja (1897-98 a 1976-77) e em Évora (1871-72 a 1976-77)". DRENA,EGF.
- Noilhan, J. & S. Planton (1989) - A simple parametrization of land surface processes for meteorological models. *Mon. Wea. Rev.*, **117**, 536-549.

- Noilhan, J. & Lacarrère, P. (1994) - GCM Grid Scale Evaporation from Mesoscale Modelling. *To appear in the Journal of Climate*.
- Oke, T.R. (1987): "Boundary Layer Climates". Methuen, London, 435pp.
- Passioura, J. B. (1983) - Roots and drought resistance. *Agric. Wat. Management* **7**:265-280.
- Penman, H. L. (1948) - Natural evaporation from open water, bare soil and grass. *Proc. R. Soc. Lond. A* **193**:120-145
- Perrier, A. & Tuzet, A. (1988) - Land Surface Processes: description, theoretical approaches and physical laws underlying their measurements. in *Land Surface Evaporation Measurement and Parametrization*, ed. by T. Scmugge and J.C.André. Springer-Verlag.
- Pielke, R. (1984) - *Mesoscale Meteorological Modelling*. Academic Press.
- Pielke,R., Segal, M. (1986) - Mesoscale circulations forced by differential terrain heating, in *Mesoscale meteorology and forecasting*, ed. P. Ray. American Meteorological Society.
- Powell, D. L. (1994) - *Soil Science: methods and applications*. Longman Scientific.
- Reis,R.M.da Mata e M. Zorro Gonçalves (Instituto Nacional de Meteorologia e Geofísica), (1987): "O Clima de Portugal - Caracterização Climática da Região Agrícola do Alentejo", Fascículo XXXIV.
- Rosenan, N. (1963) - Changes of climate. *Proc. Rome Symp.*, UNESCO, WMO, 67-73.
- Sequeira, E.M. (1994) - Convenção para combater a desertificação nos países sujeitos a secas e/ou desertificação particularmente em África - Áreas abrangidas em Portugal. Estação Agronómica de Oeiras, Instituto Nacional de Investigação Agrária.
- Segal, M. and Arritt, R.W. (1992): Nonclassical Mesoscale Circulations caused by surface sensible heat-flux gradients. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, **73**, No 10, 1593-1604.
- Schickdanz, P.T. (1976) - Effect of irrigation on precipitation in the Great plains. Final Rep. to NSF, RANN, Illinois State Water Survey, Univ. of Illinois, Urbana, 105pp.
- Shuttleworth, W. J. (1979) - Evaporation. Institute of Hydrology Report 56, Wallingford.

- Smith W.H.F., Wessel P. (1990). Gridding with continuous curvature splines in tension. *Geophysics*, 55, 293-305.
- Stull, R. (1988) - *An Introduction to Boundary Layer Meteorology*. Kluwer Ac.Pub.
- Thornthwaite, C. W. (1948) - An approach toward a rational classification of climate. *Geogr. Rev.* **38**:55-94.
- Thornthwaite, C. W. & Mather, J. R. (1957) - Instructions and Tables for computing potential evapotranspiration and the water balance. Publications in Climatology, Drexel Institute of Technology, New Jersey.
- Xue, M. and Thorpe, A.J. (1992) - A mesoscale numerical model using the non-hydrostatic pressure-based σ -coordinate equations: Model experiments with dry mountain flow. *Mon. Weather Rev.*, **119**, 1168-1185.

Apêndice A

Gráficos e Tabelas de Climatologia

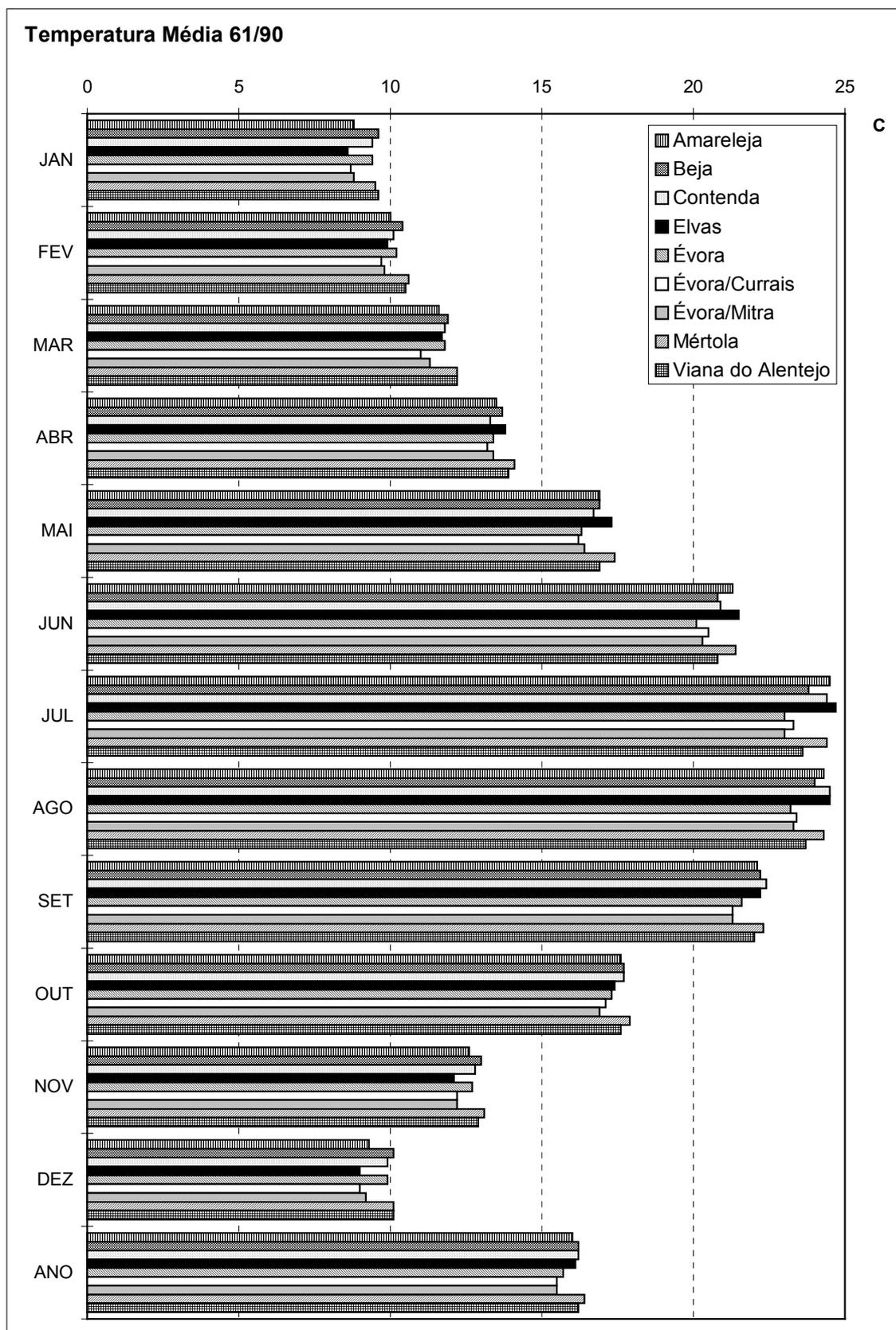


Figura A. 1 - Temperatura média mensal - Normal climatológica 1961/90

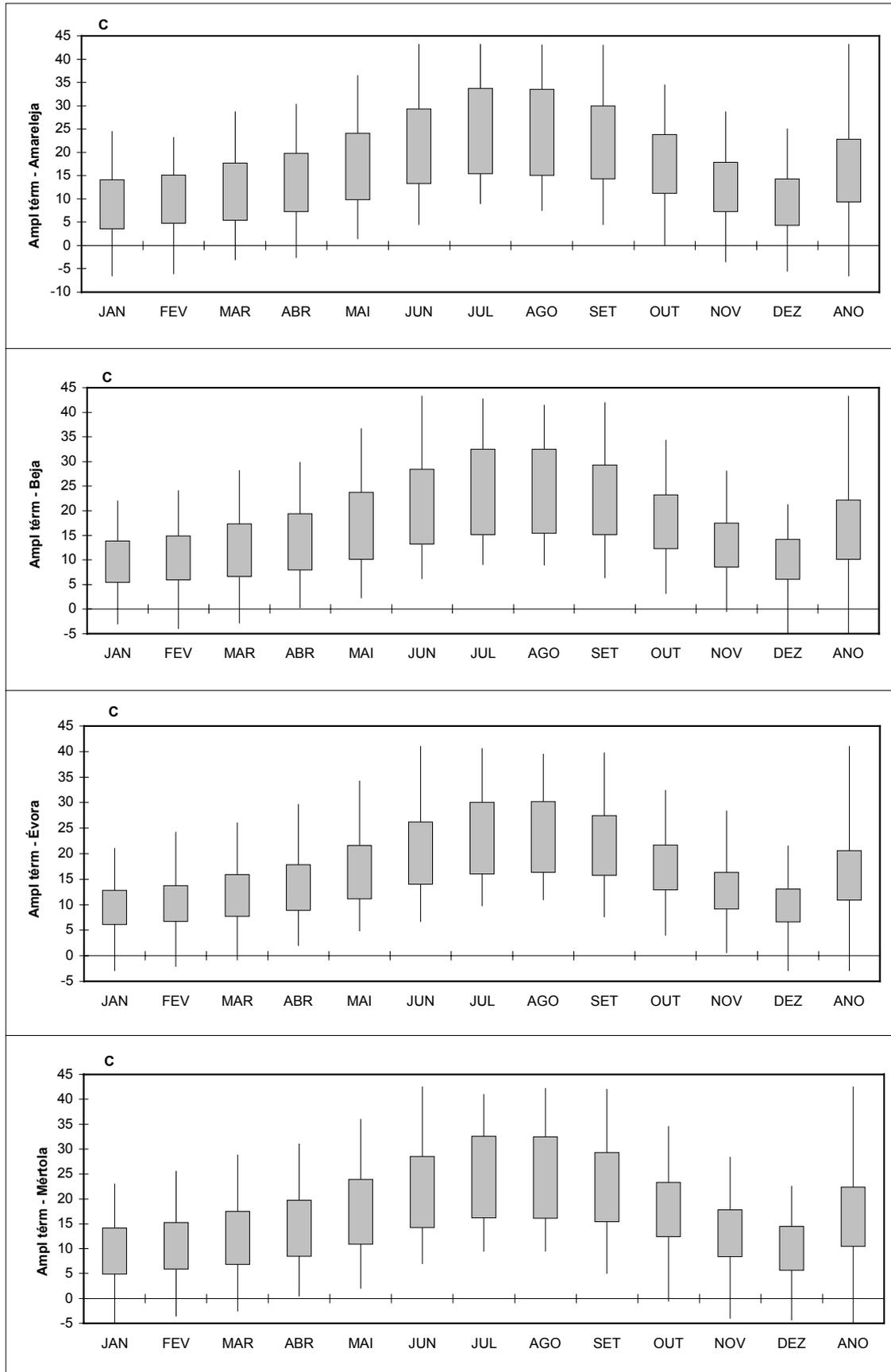


Figura A.2 - Amplitude térmica média, máximos e mínimos absolutos - Normal climatológica 1961/90

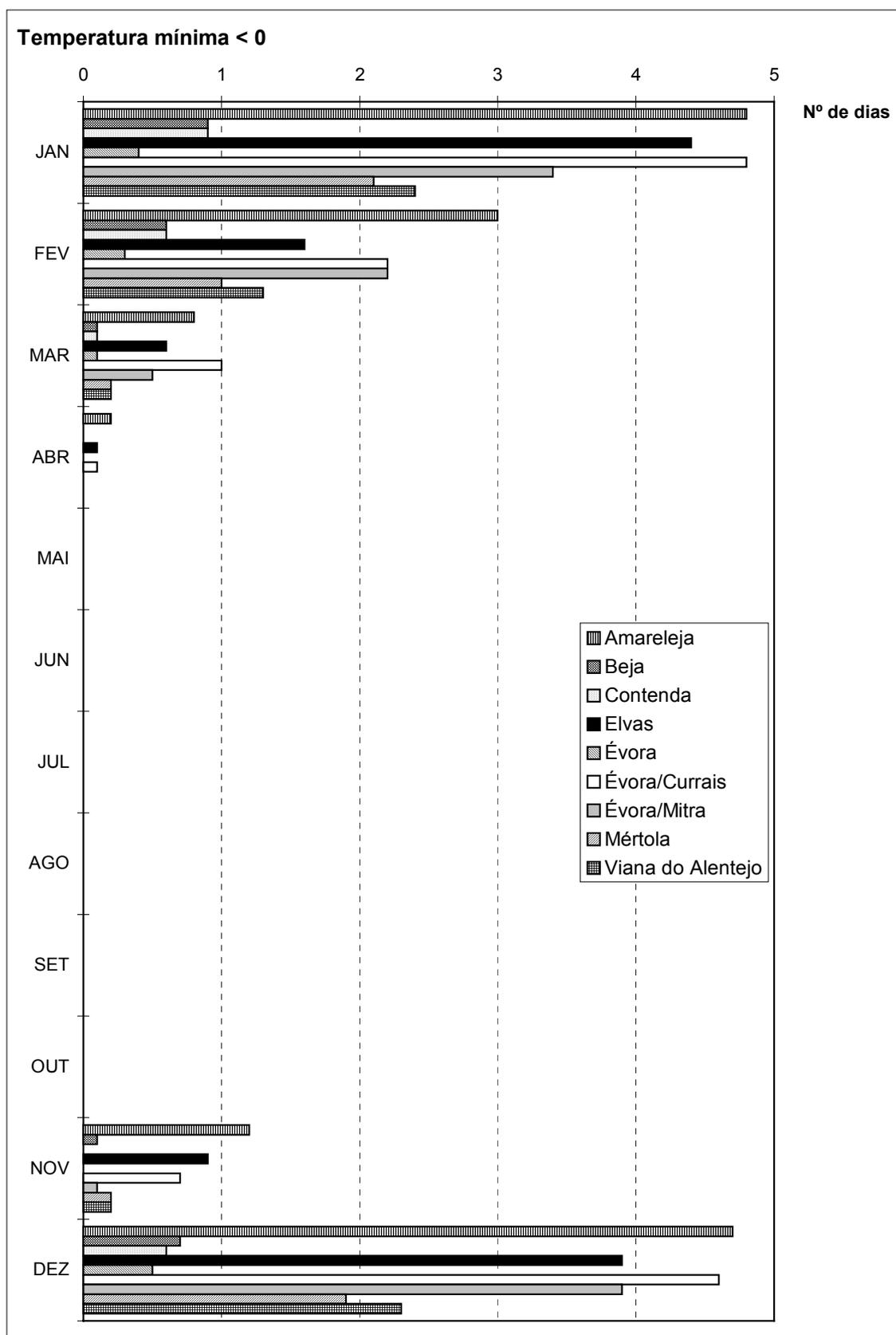


Figura A.3 - Número médio de dias em que a temperatura mínima foi inferior a 0°C - Normal climatológica 1961/90

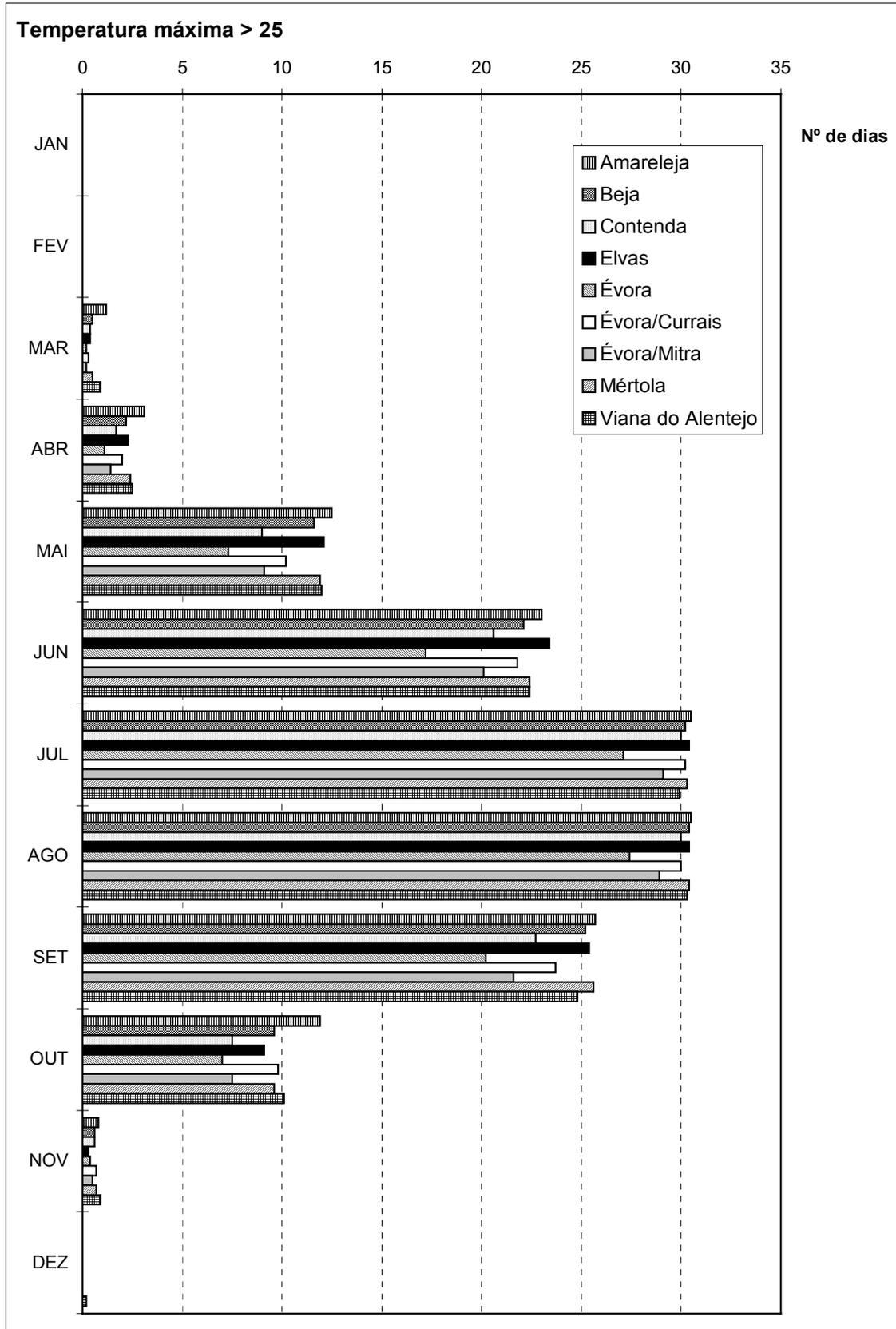


Figura A.4 - Número médio de dias em que a temperatura máxima foi superior a 25°C - Normal climatológica 1961/90

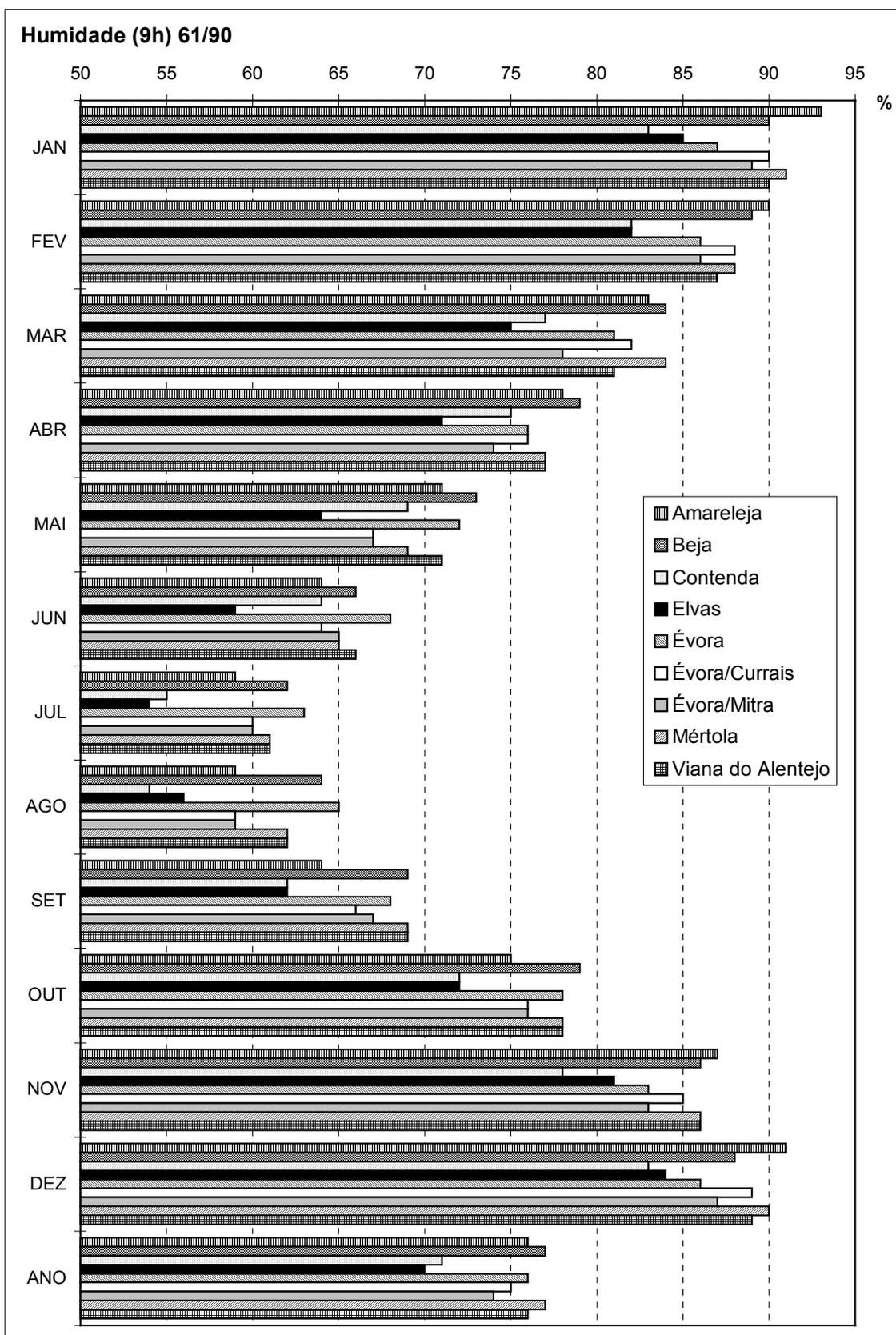


Figura A.5 - Valor médio mensal da Humidade relativa do ar às 9 horas - Normal climatológica 1961/90

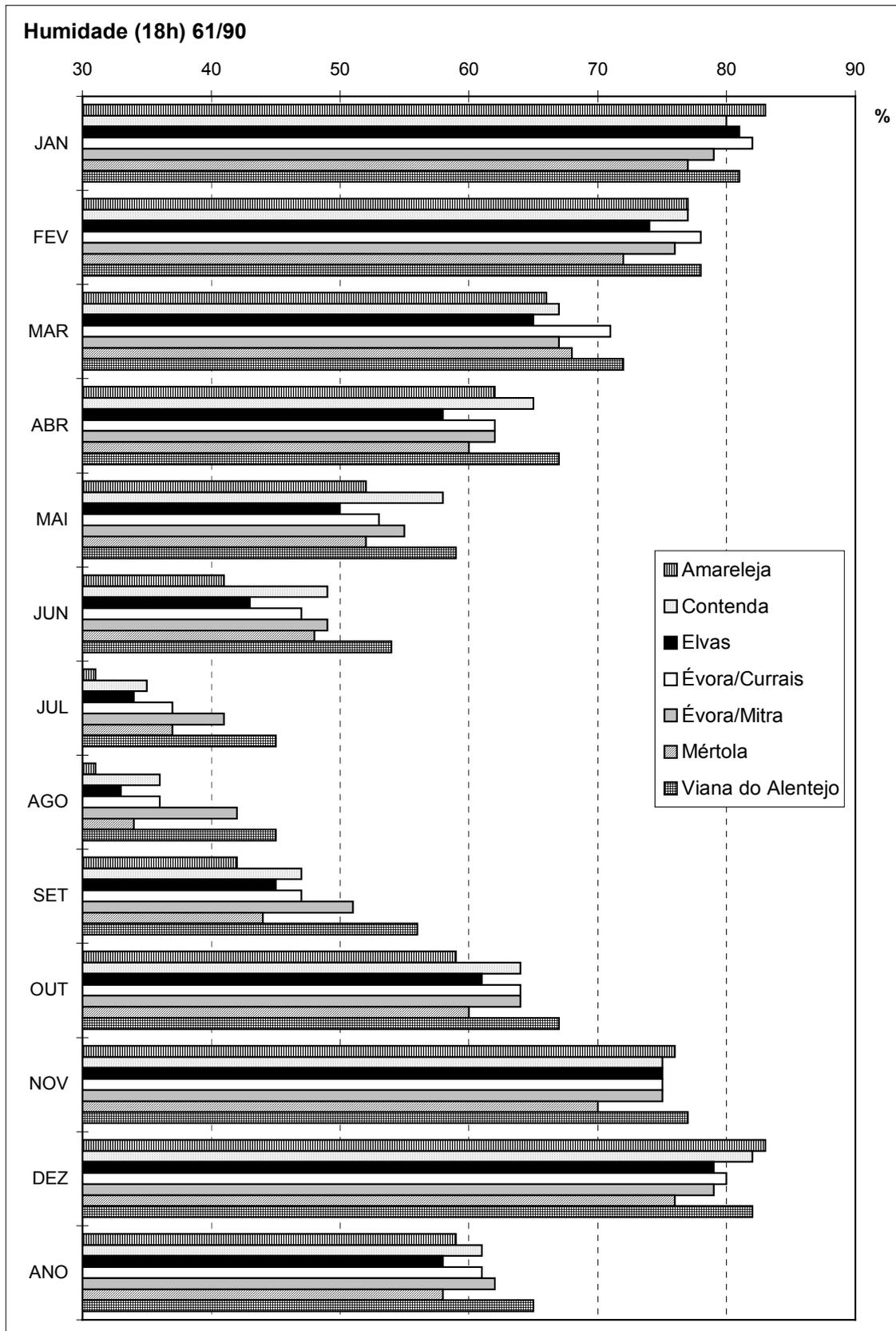


Figura A.6 - Valor médio da Humidade relativa do ar às 18 horas - Normal climatológica 1961/90

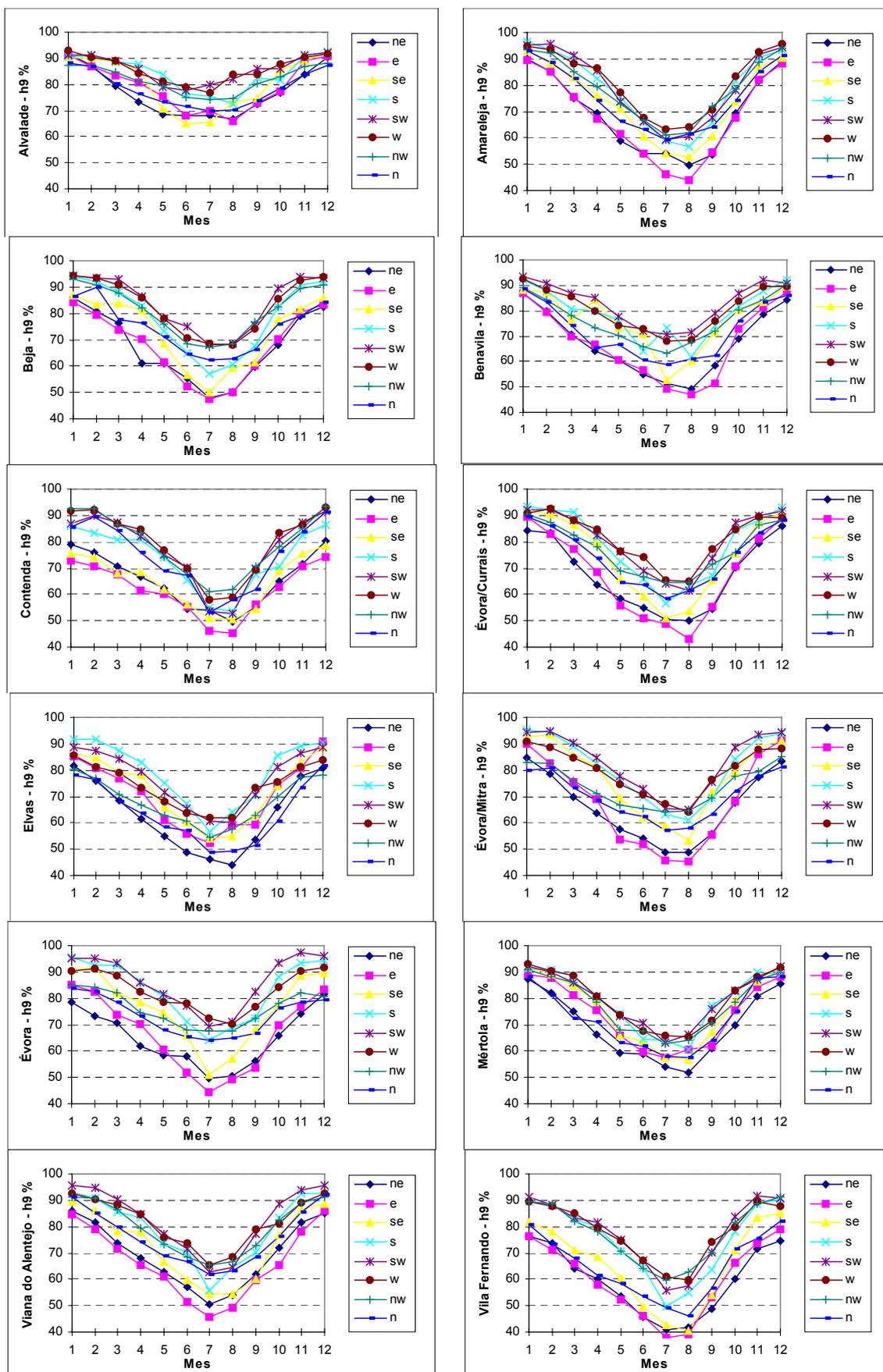


Figura A.7 - Distribuição Média da humidade relativa às 9h em função da direcção do vento e do mês

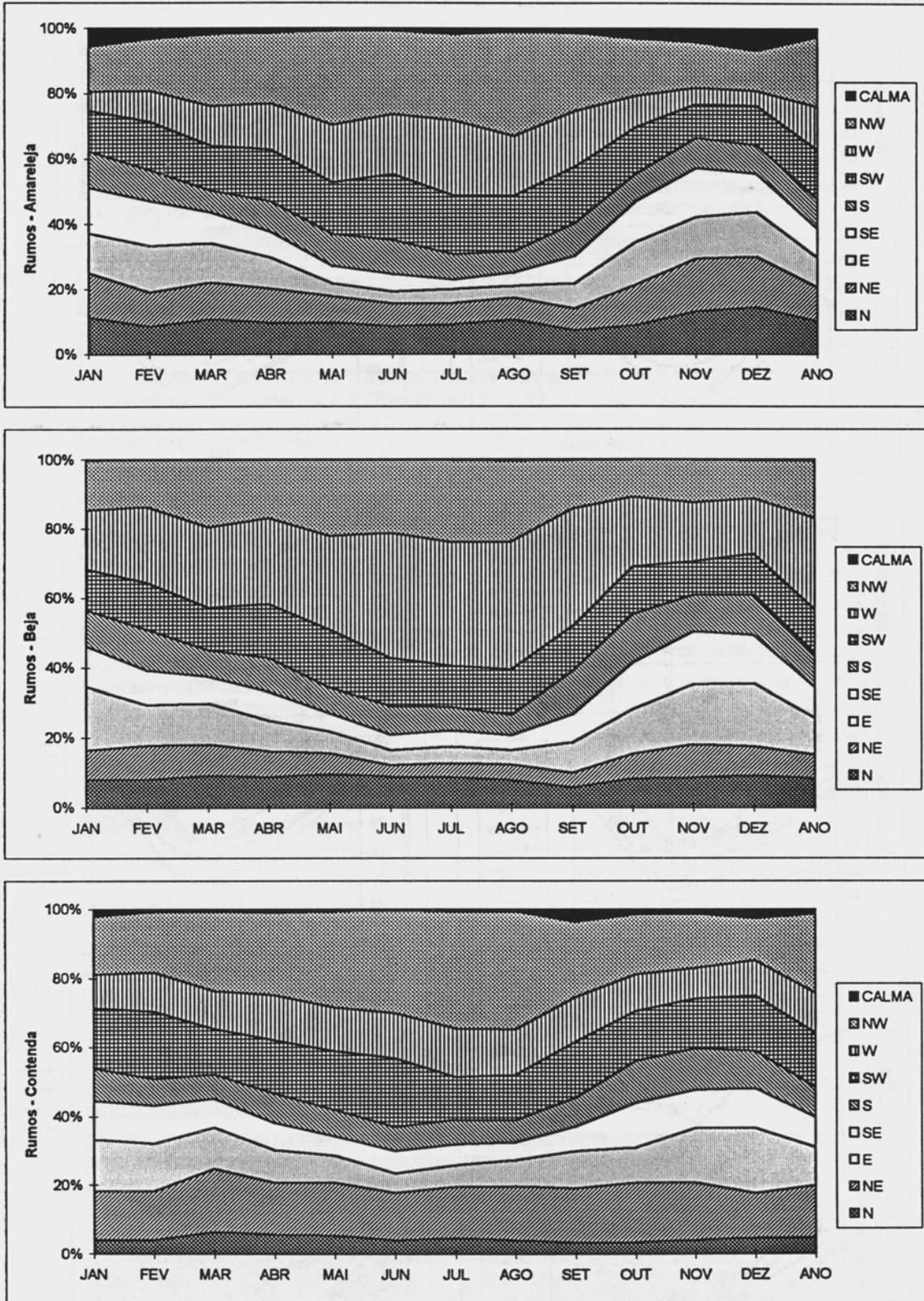


Figura A.8a - Caracterização de rumos de vento - Normal climatológica 1961/90

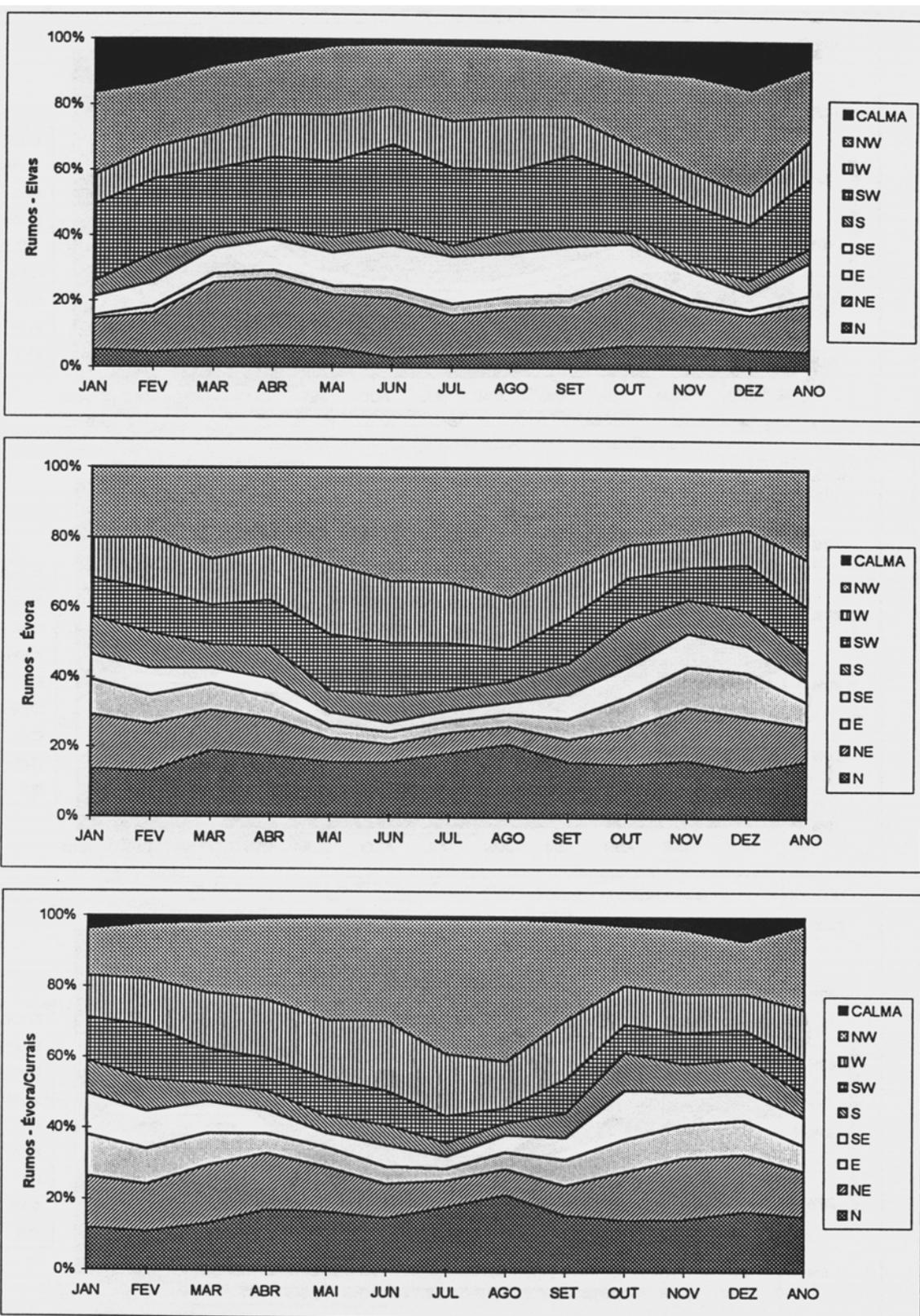


Figura A.8b - Caracterização de rumos de vento - Normal climatológica 1961/90

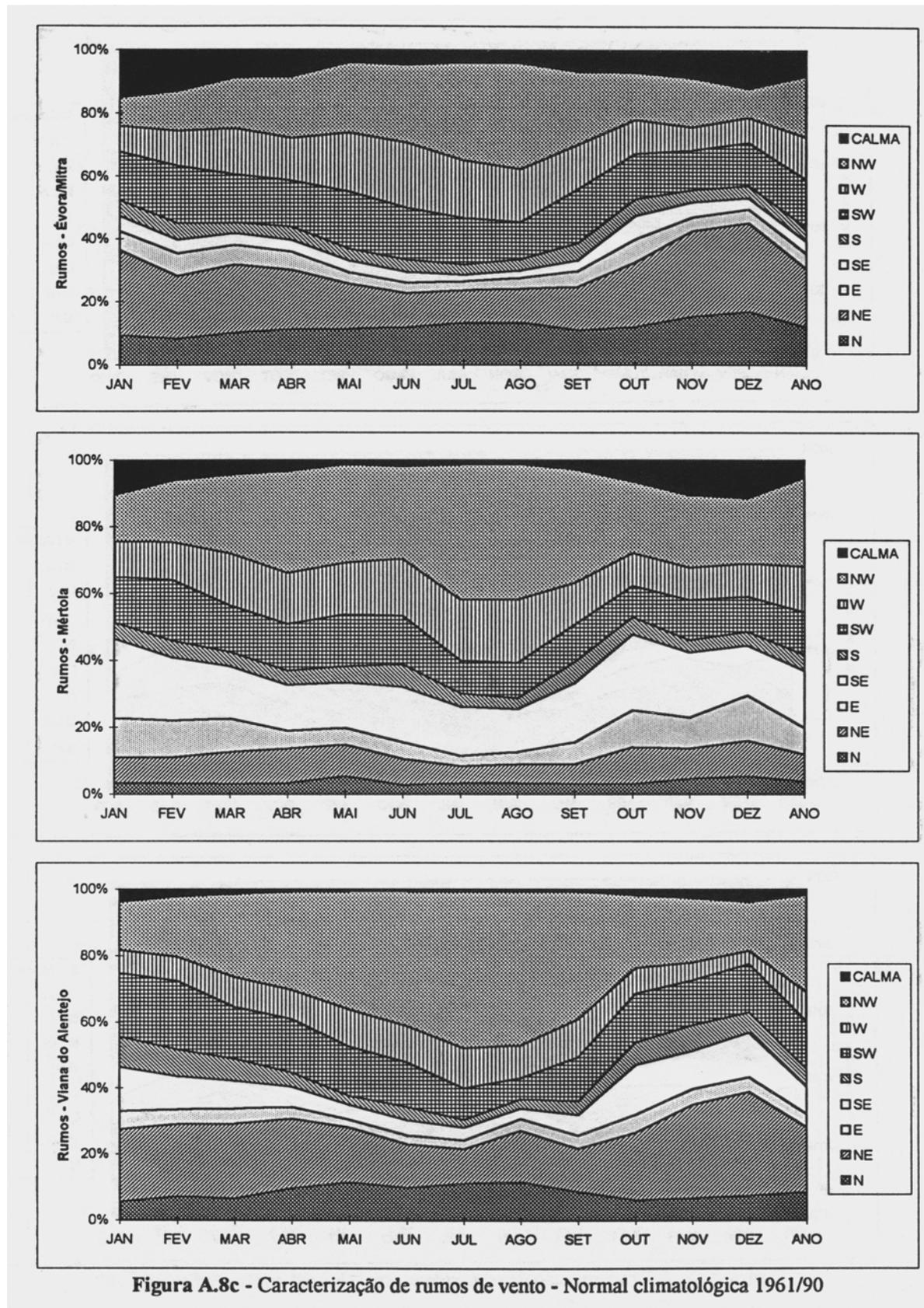
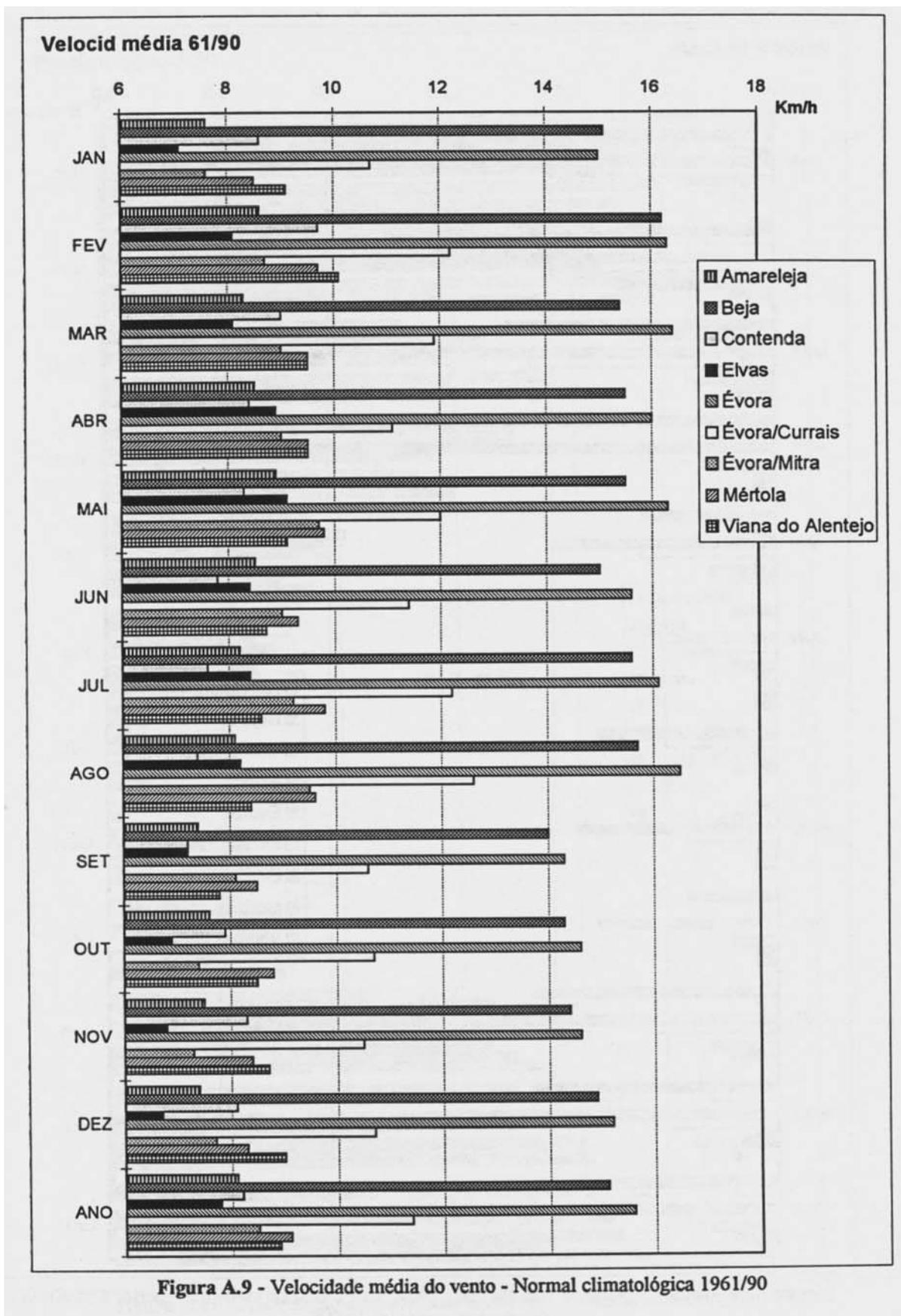


Figura A.8c - Caracterização de rumos de vento - Normal climatológica 1961/90



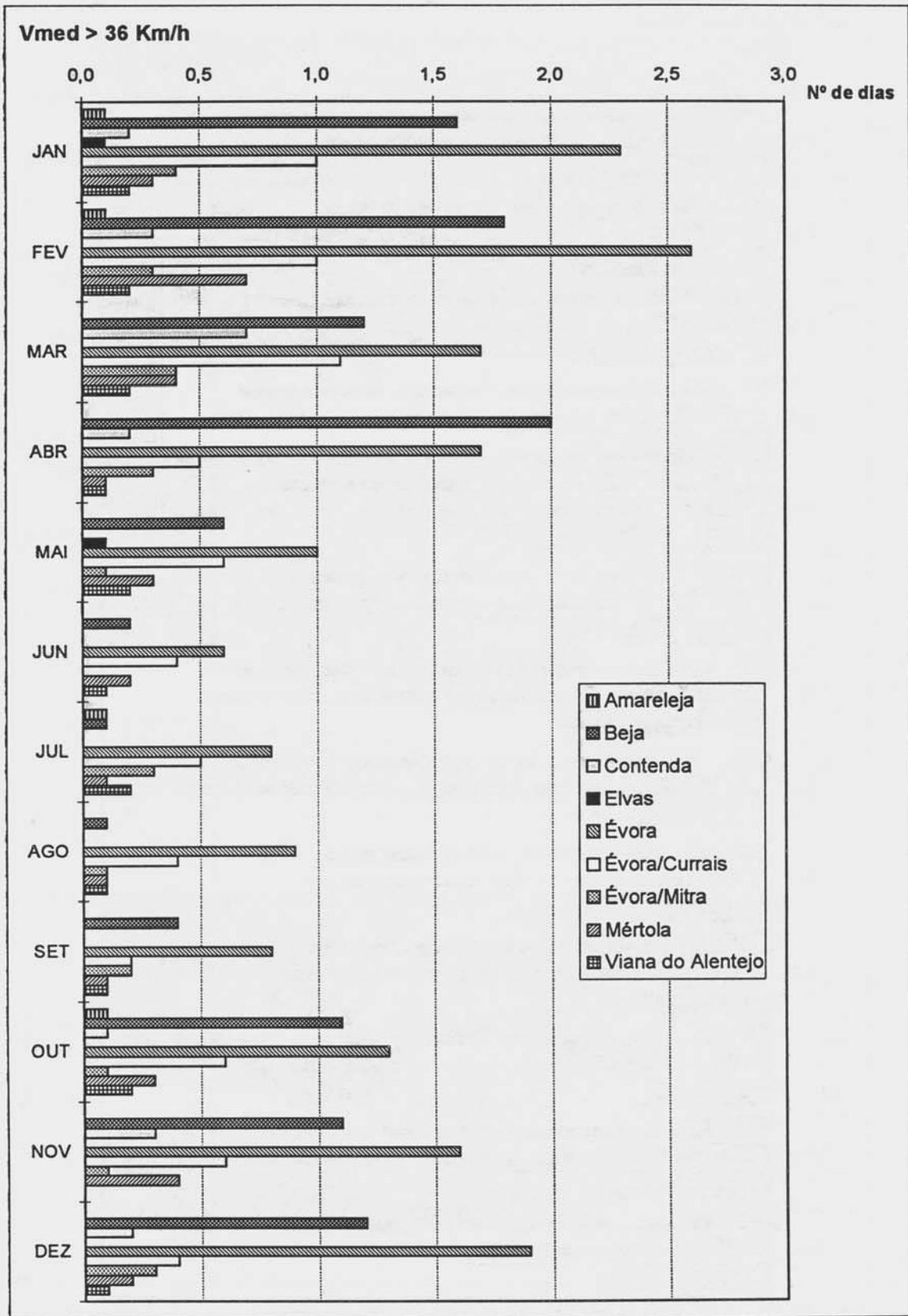
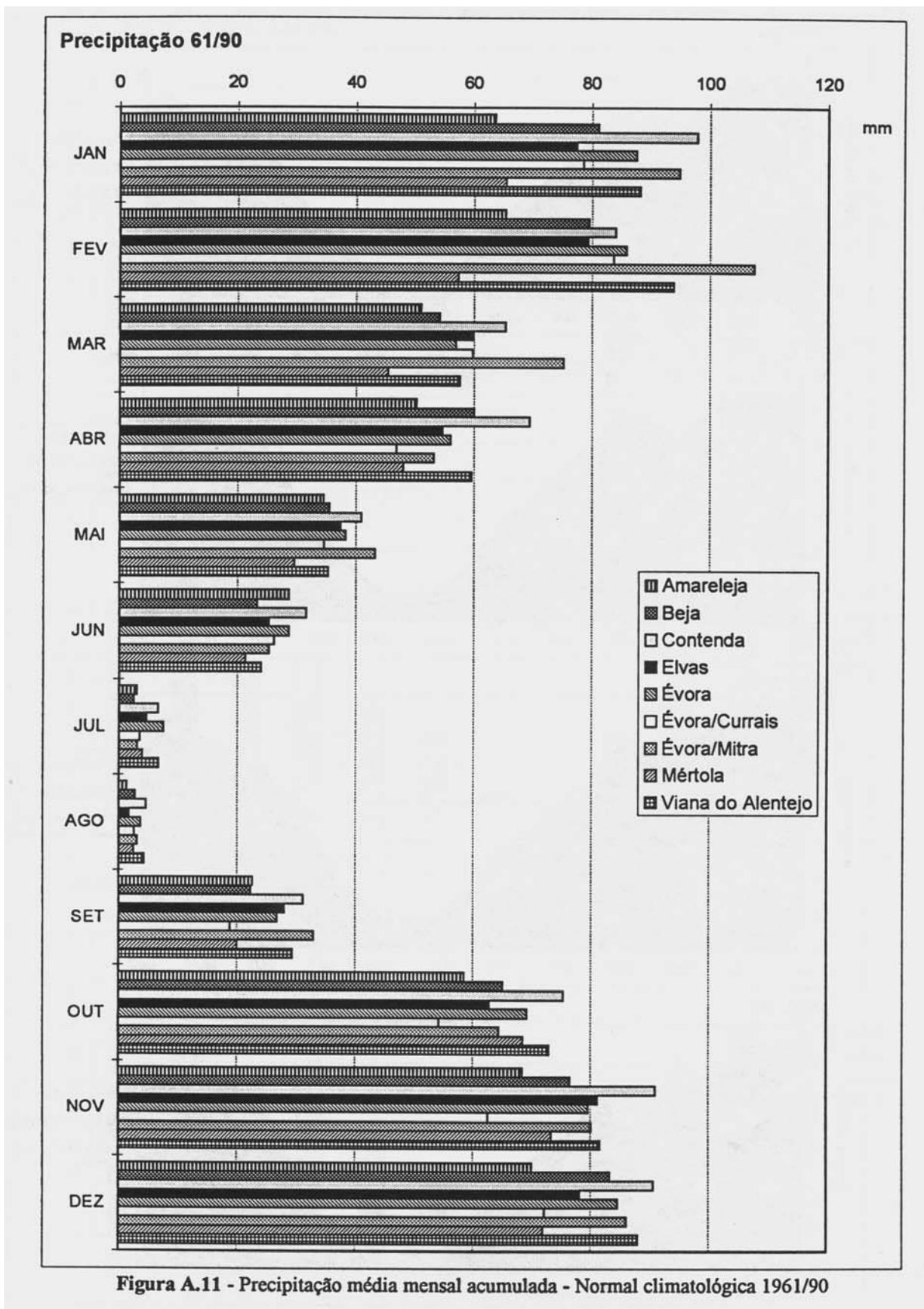


Figura A.10 - Número médio de dias em que a velocidade média do vento foi superior a 36 Km/h - Normal climatológica 1961/90



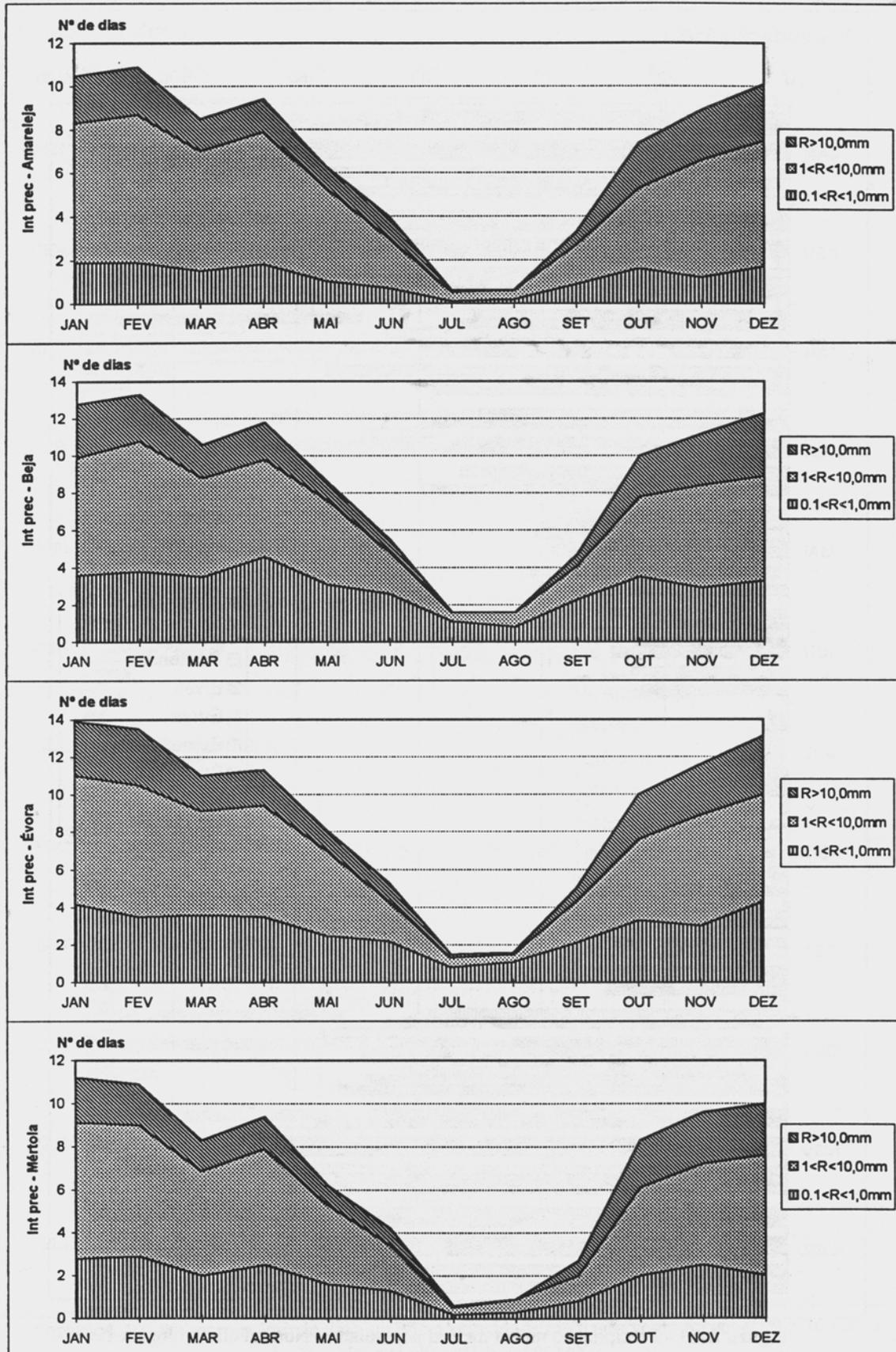


Figura A.12 - Regime médio de precipitação - Normal climatológica 1961/90

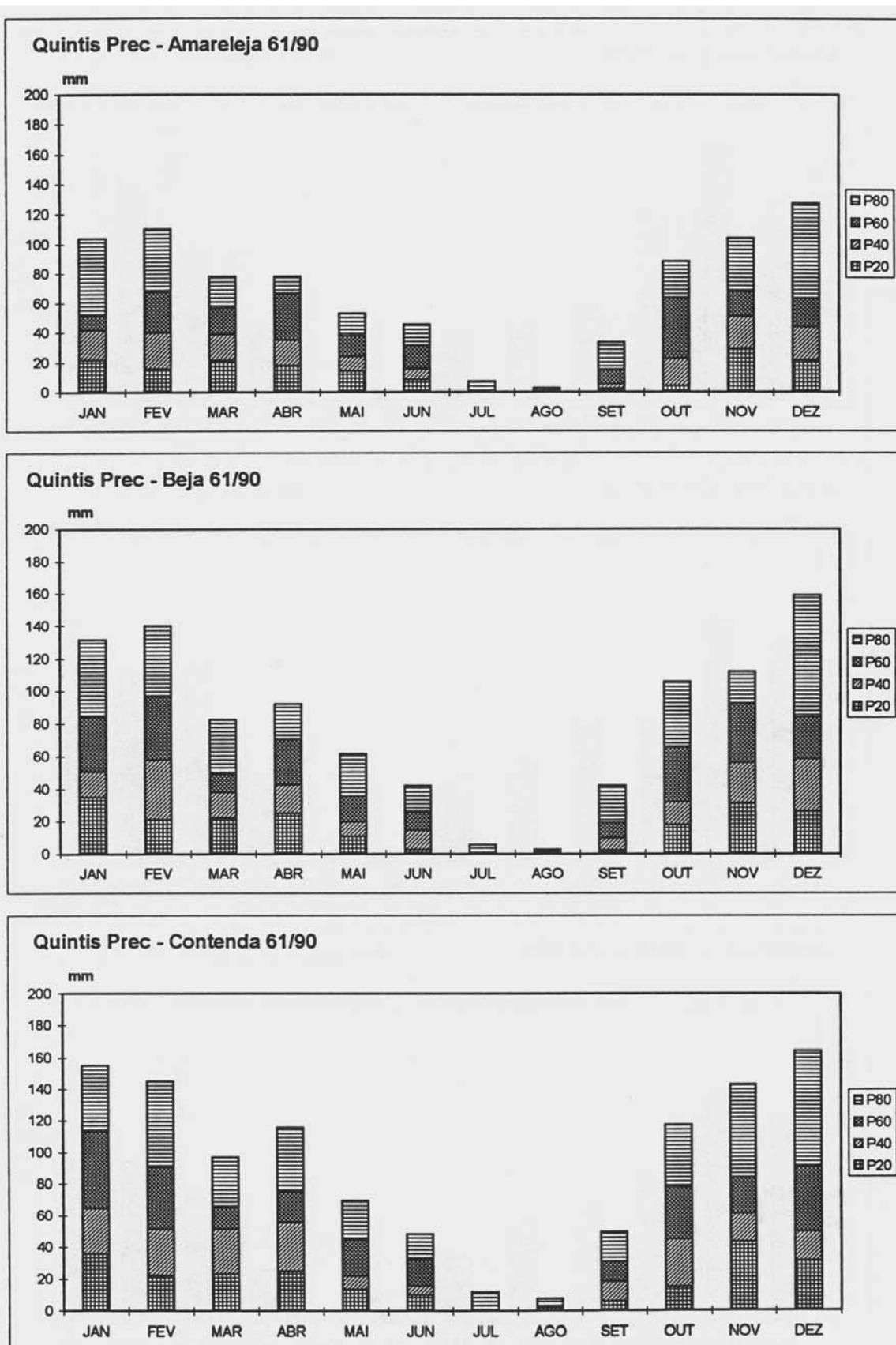


Figura A.13a - Quintis de Precipitação - Normal Climatológica 1961/90

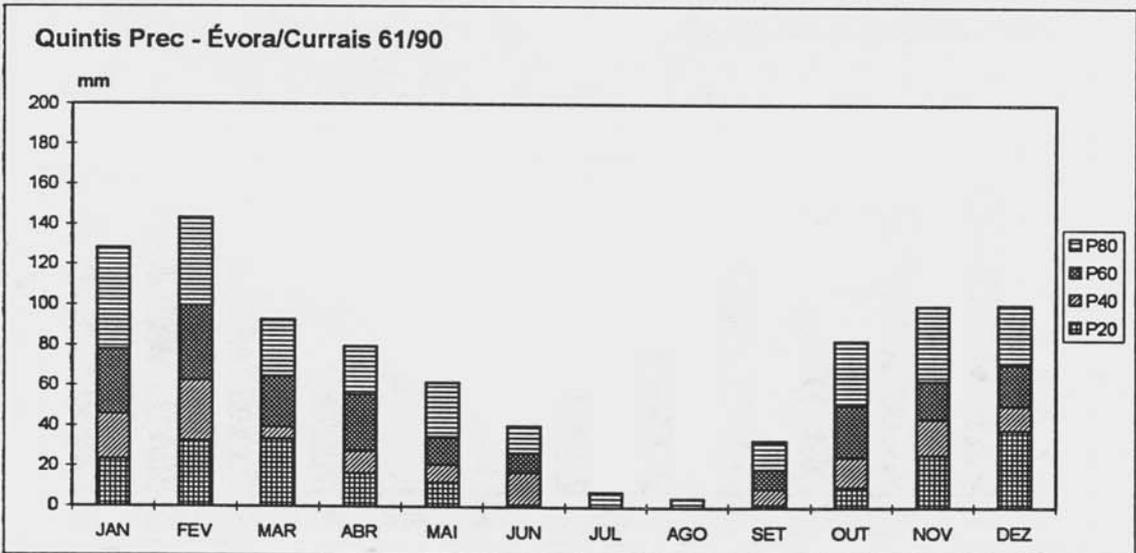
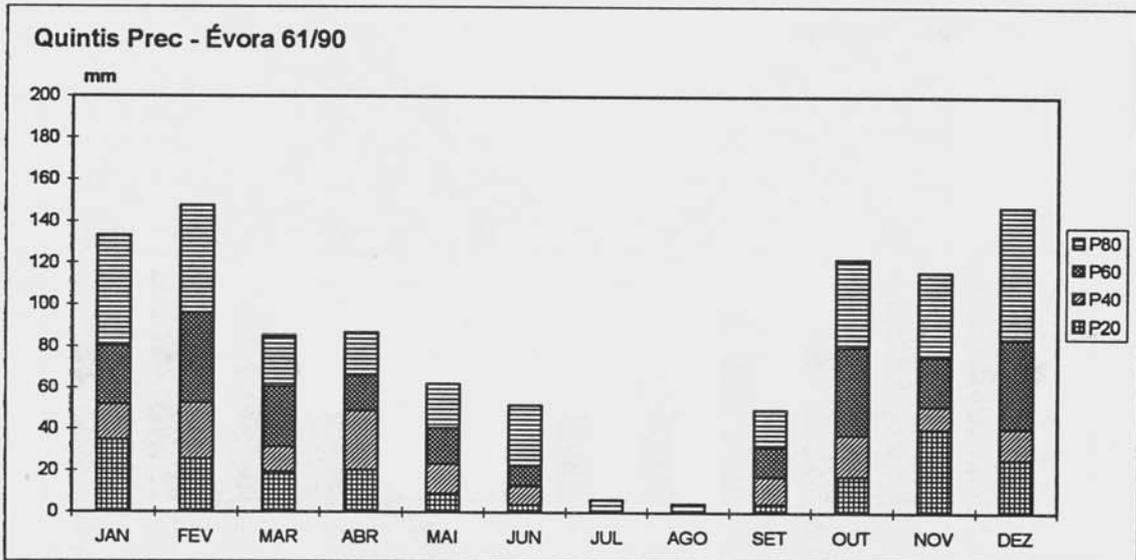
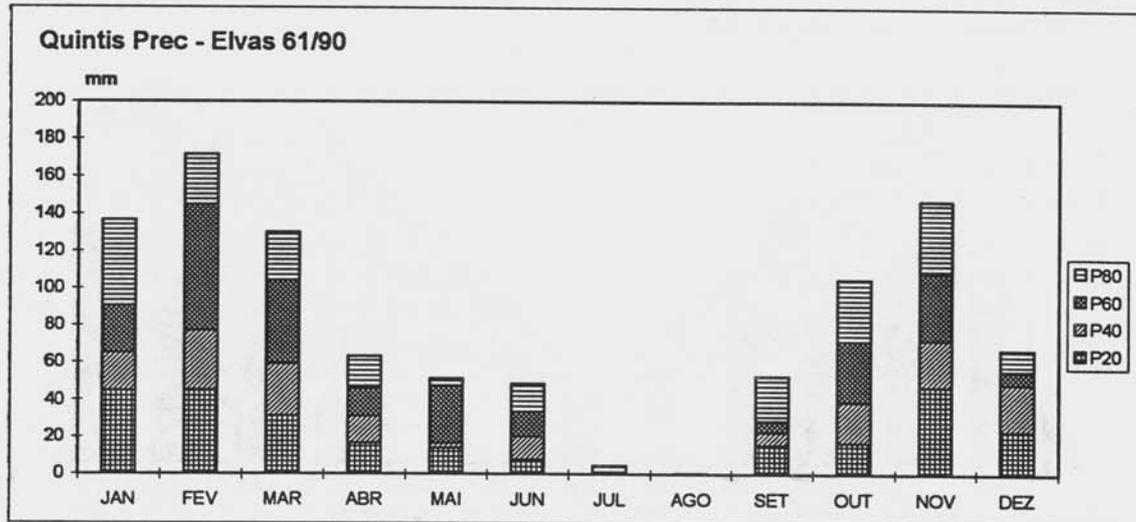
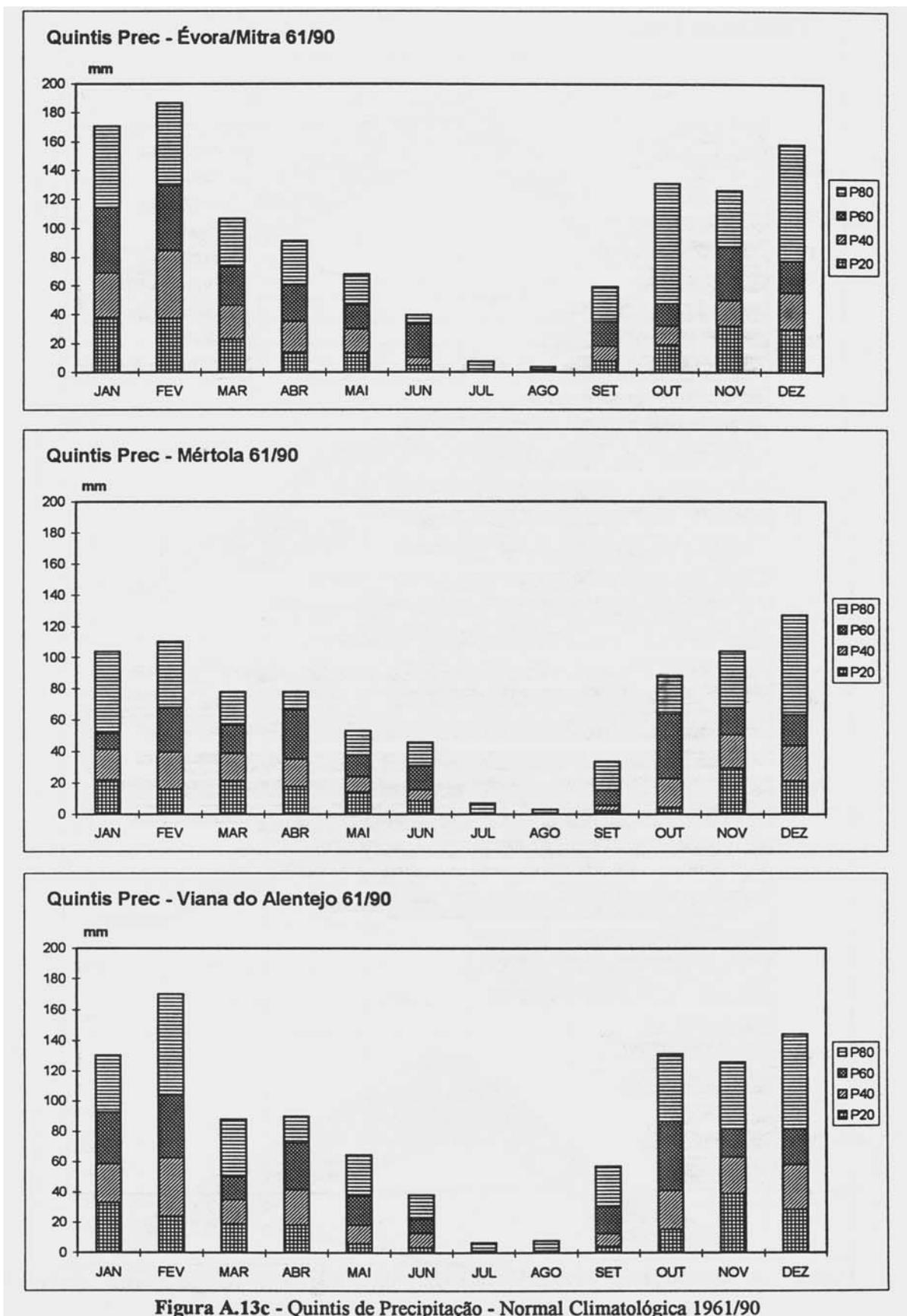
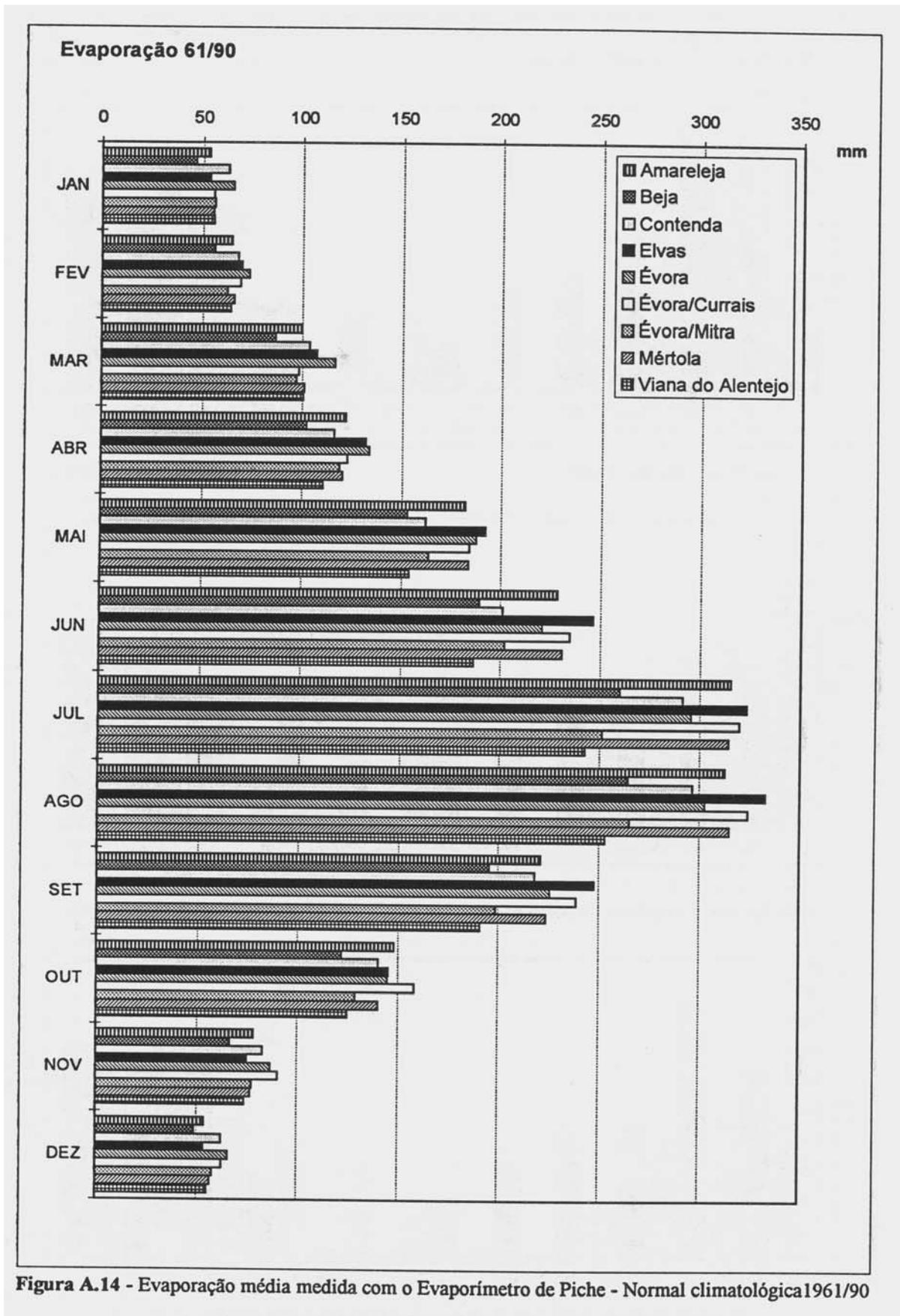


Figura A.13b - Quintis de Precipitação - Normal Climatológica 1961/90





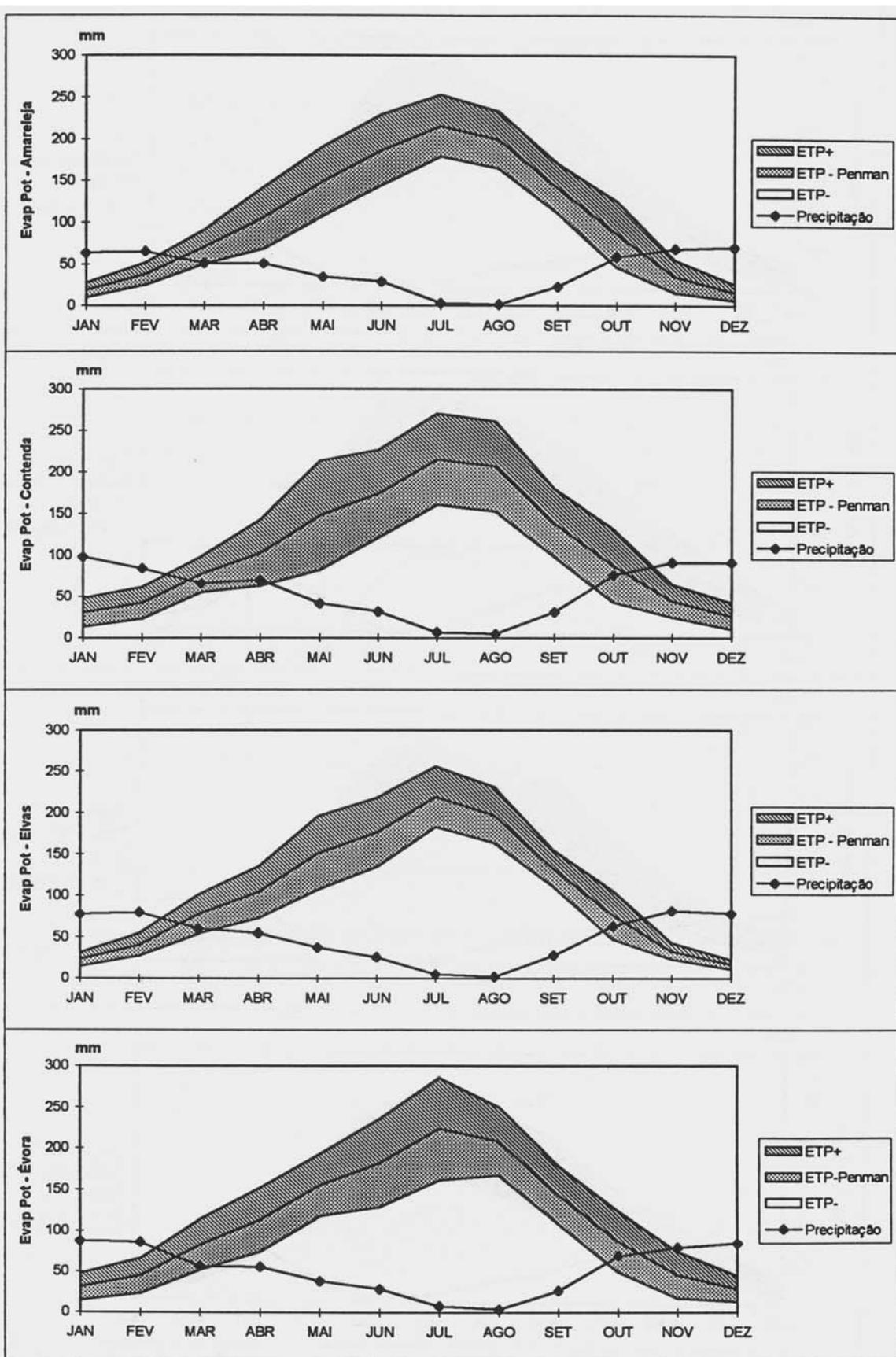


Figura A.15a - Evapotranspiração Potencial de Penman (ETP+ e ETP- diferem da média em 2σ) e Precipitação - Normal climatológica 1961/90

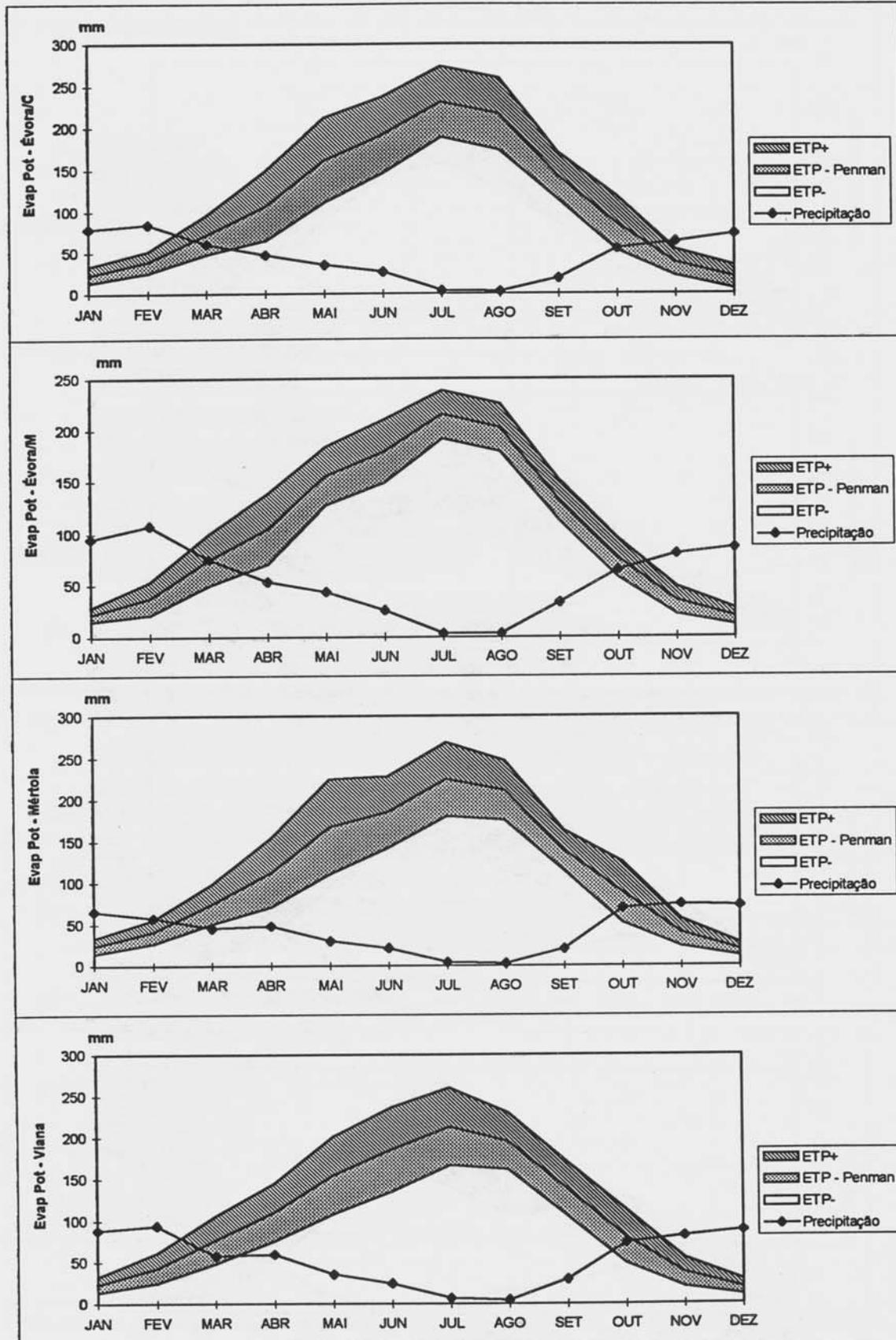


Figura A.15b - Evapotranspiração Potencial de Penman (ETP+ e ETP- diferem da média em 2*sigma) e Precipitação - Normal climatológica 1961/90

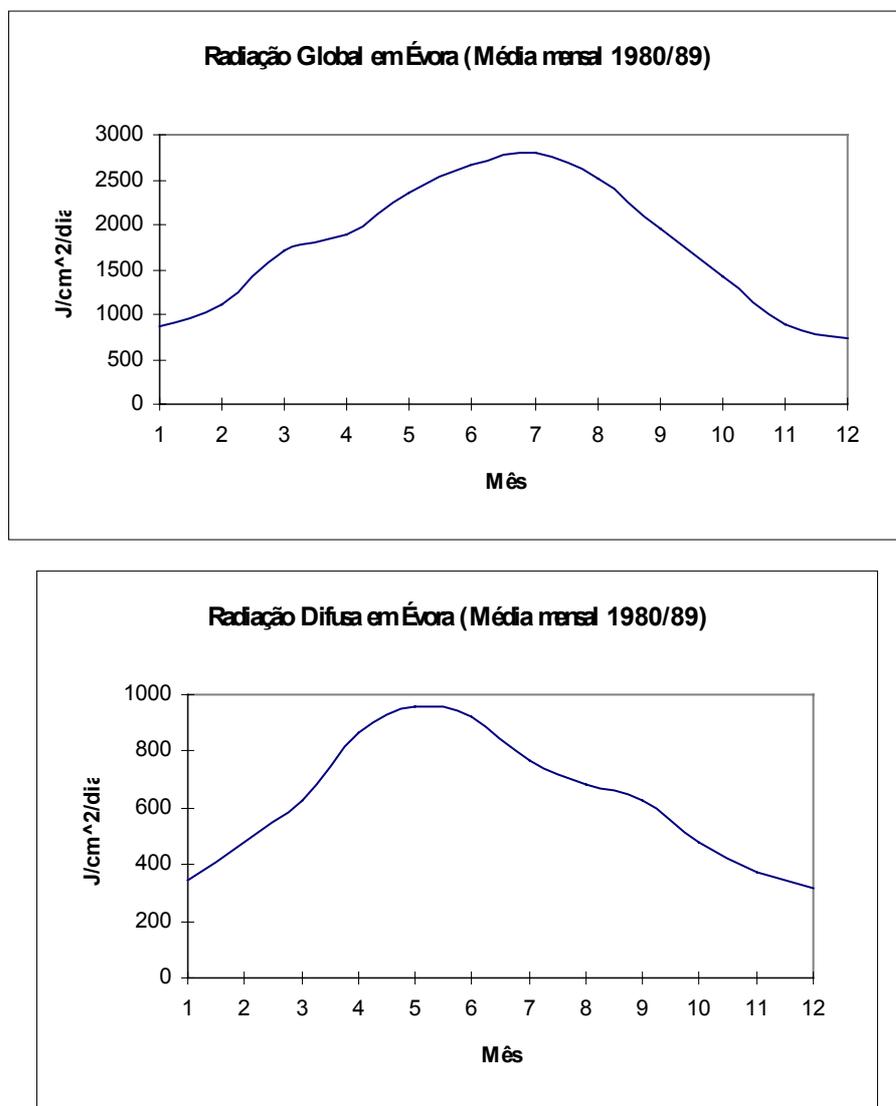


Figura A.16 - Radiação Global e Difusa em Évora. Médias mensais no período 1980/89.

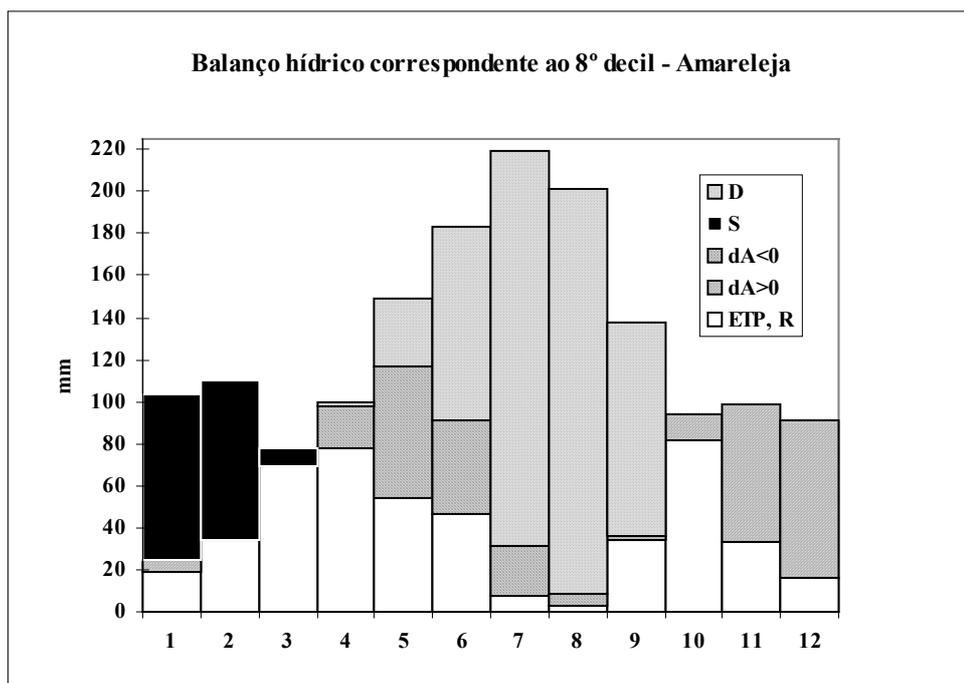
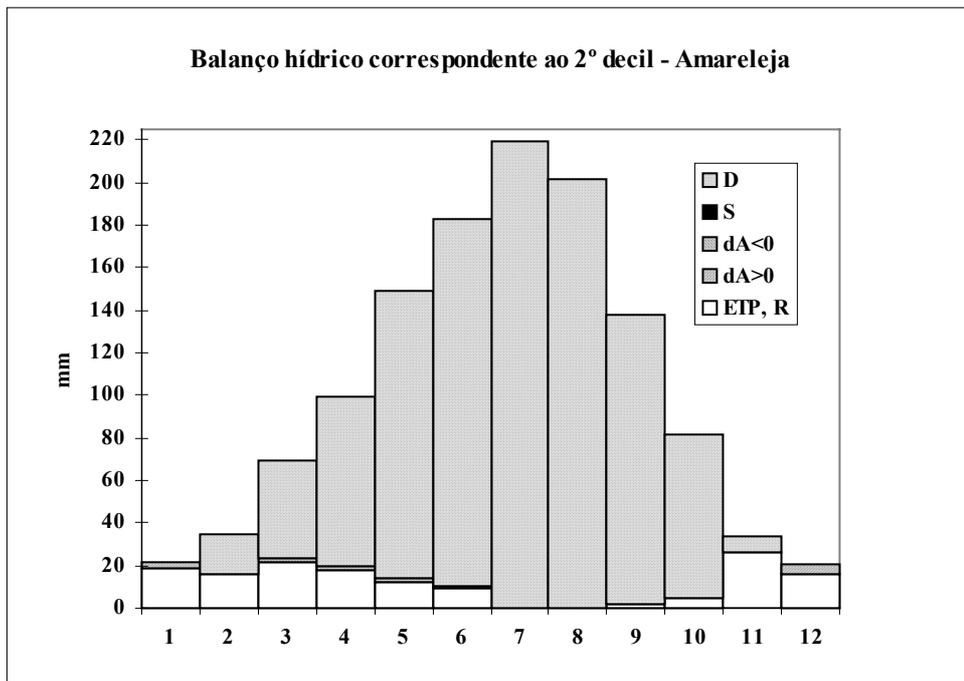


Figura A.17a - Histogramas dos balanços hídricos de Amareleja para o 2º e 8º decis da precipitação

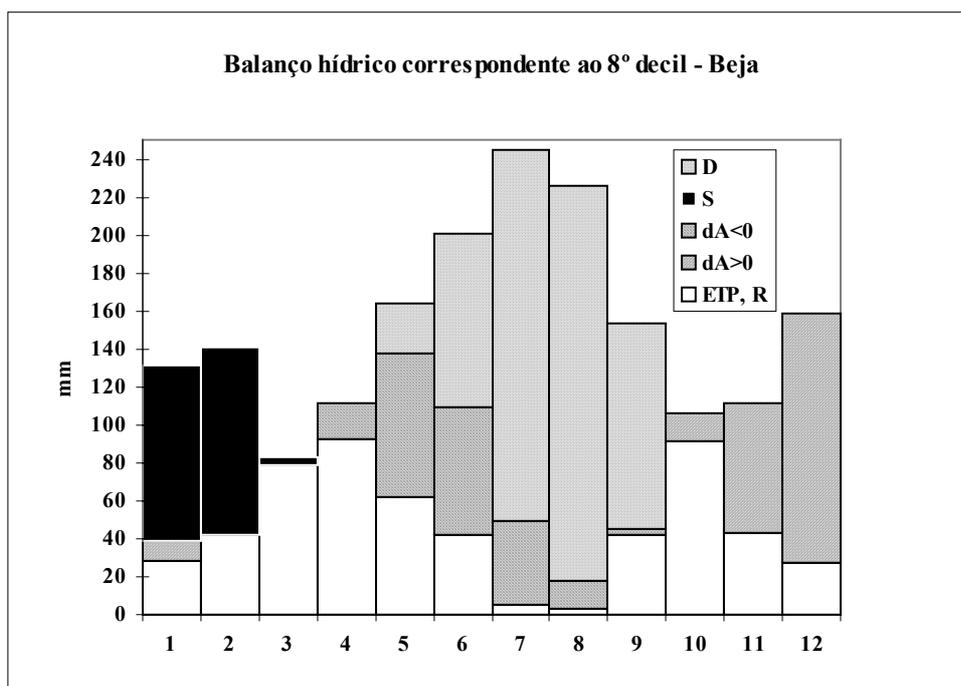
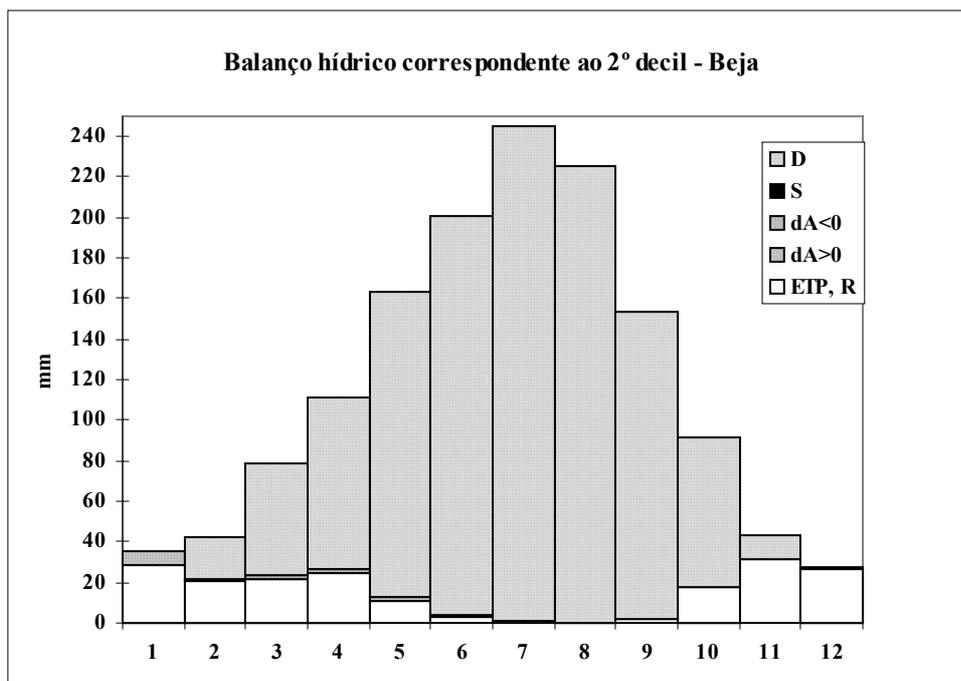


Figura A.17b - Histogramas dos balanços hídricos de Beja para o 2º e 8º decis da precipitação

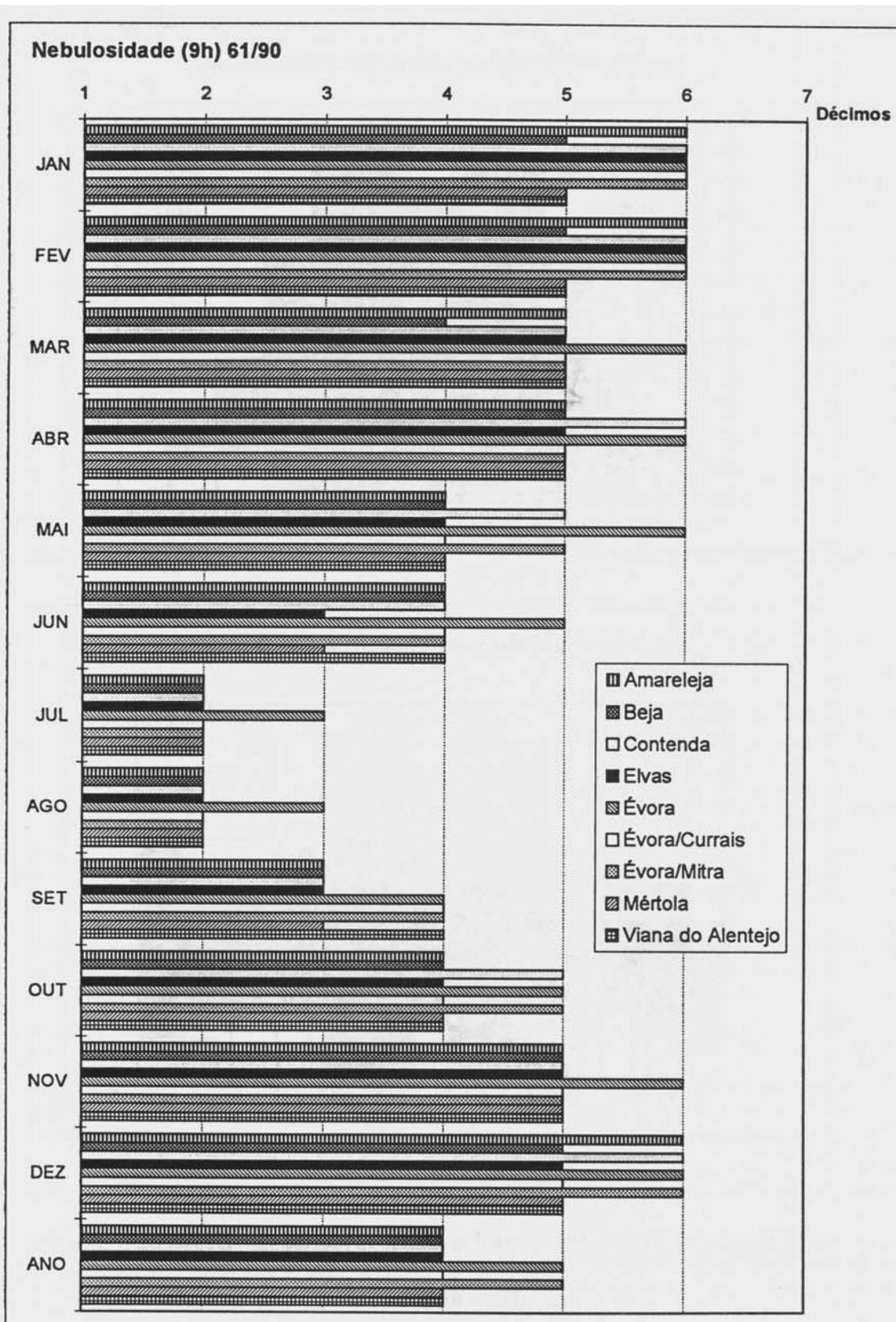
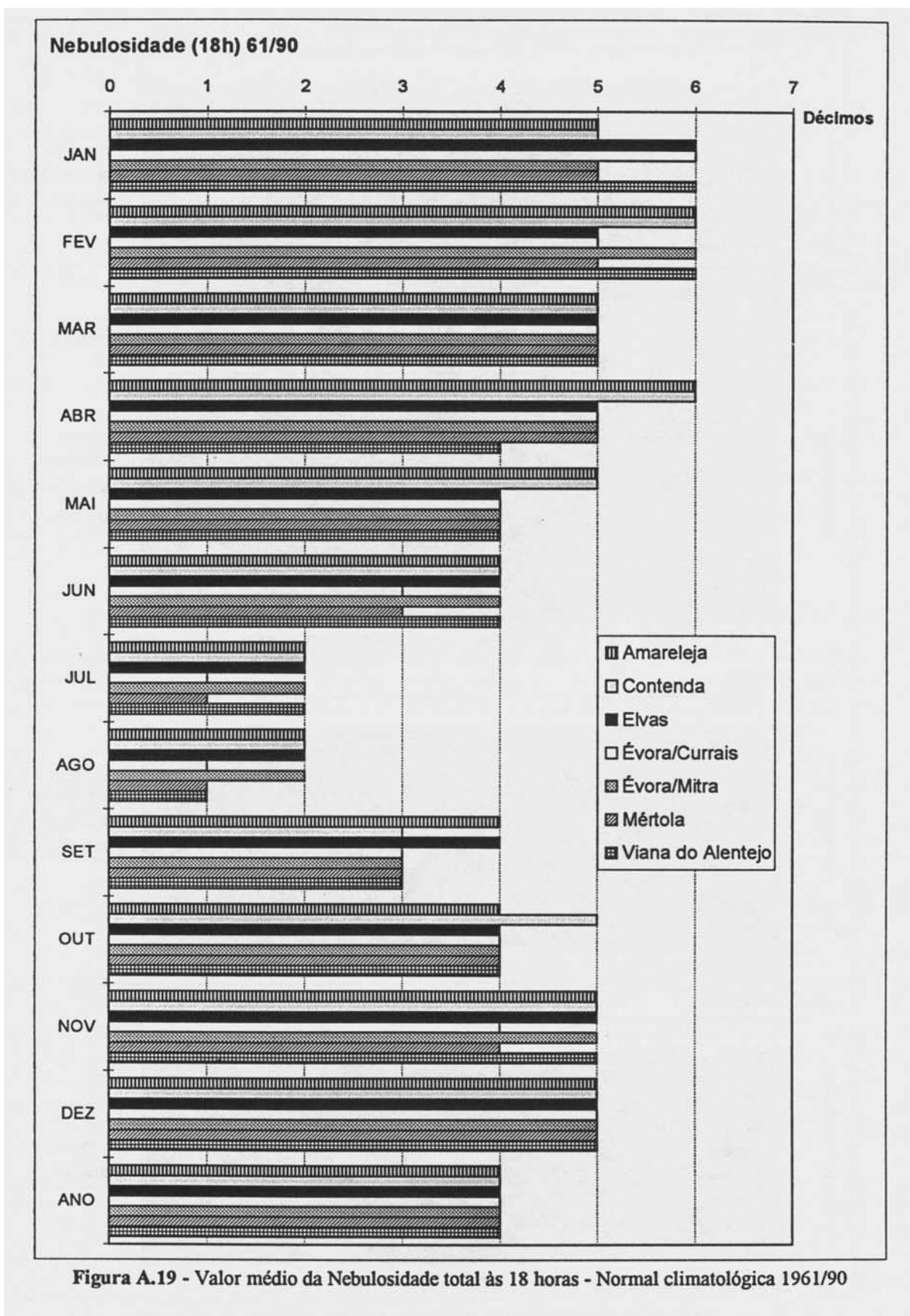


Figura A.18 - Valor médio da Nebulosidade total às 9 horas - Normal climatológica 1961/90



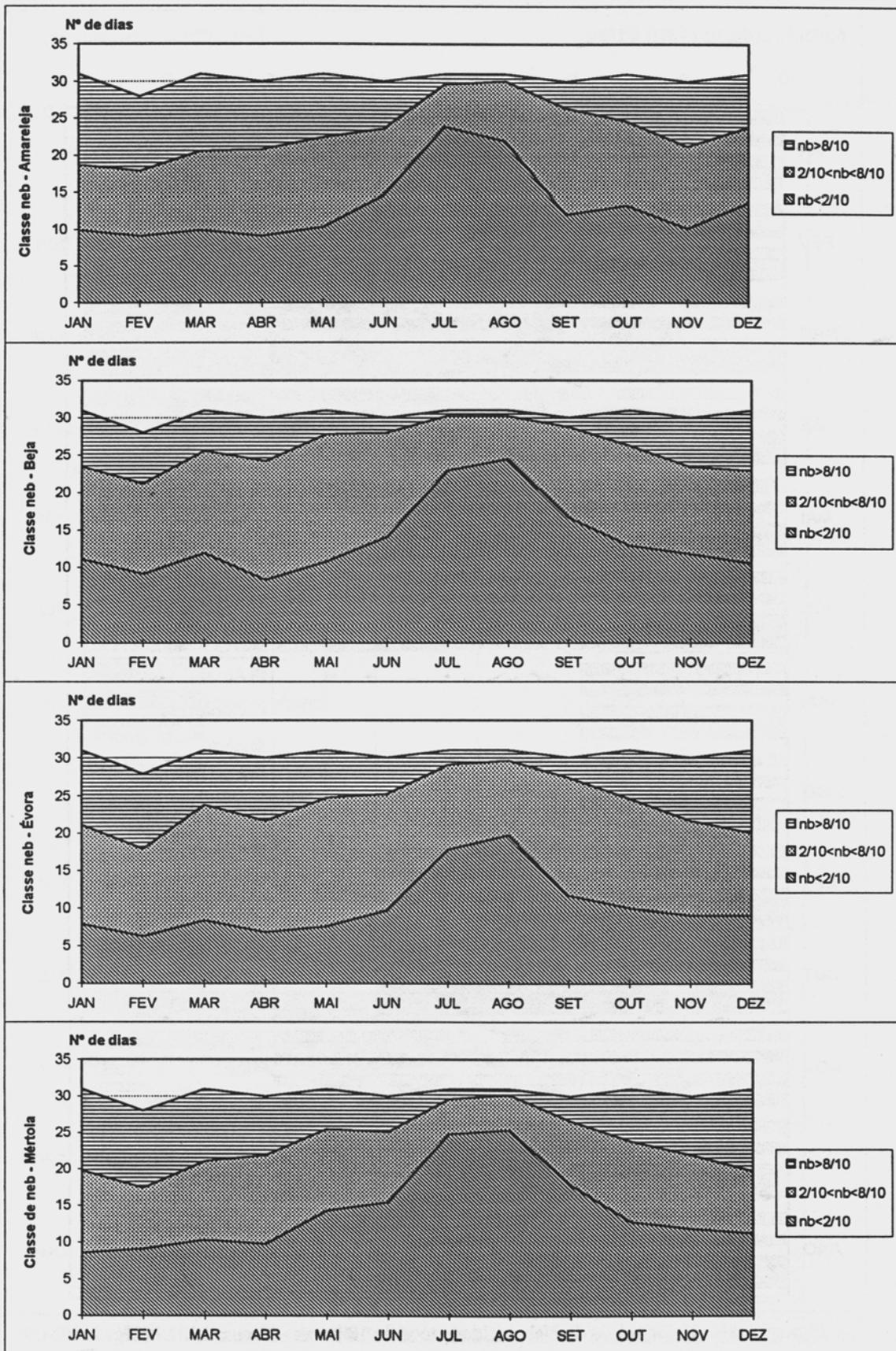
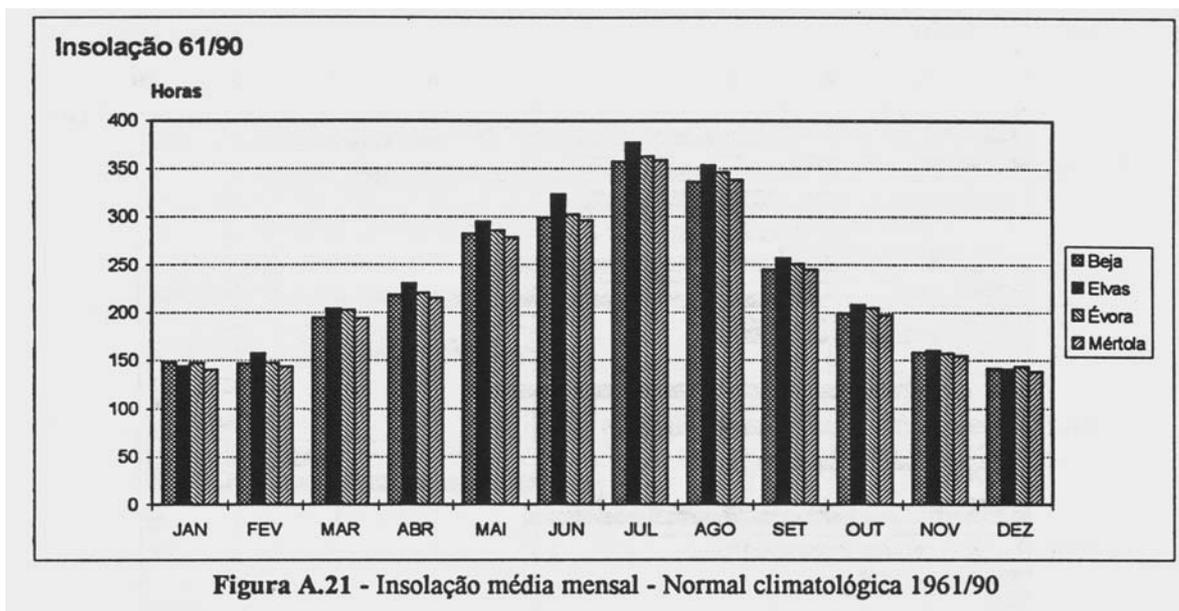
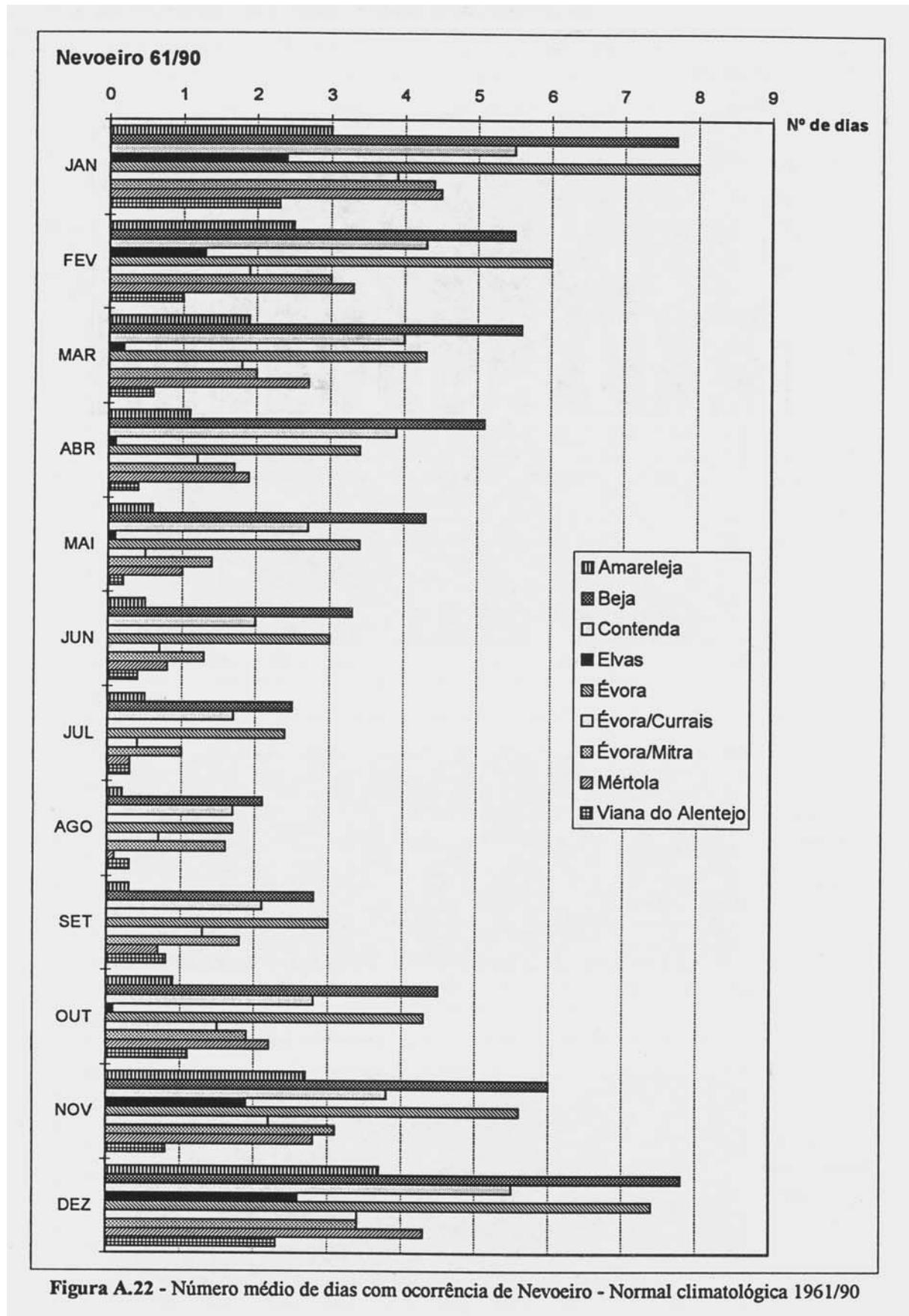
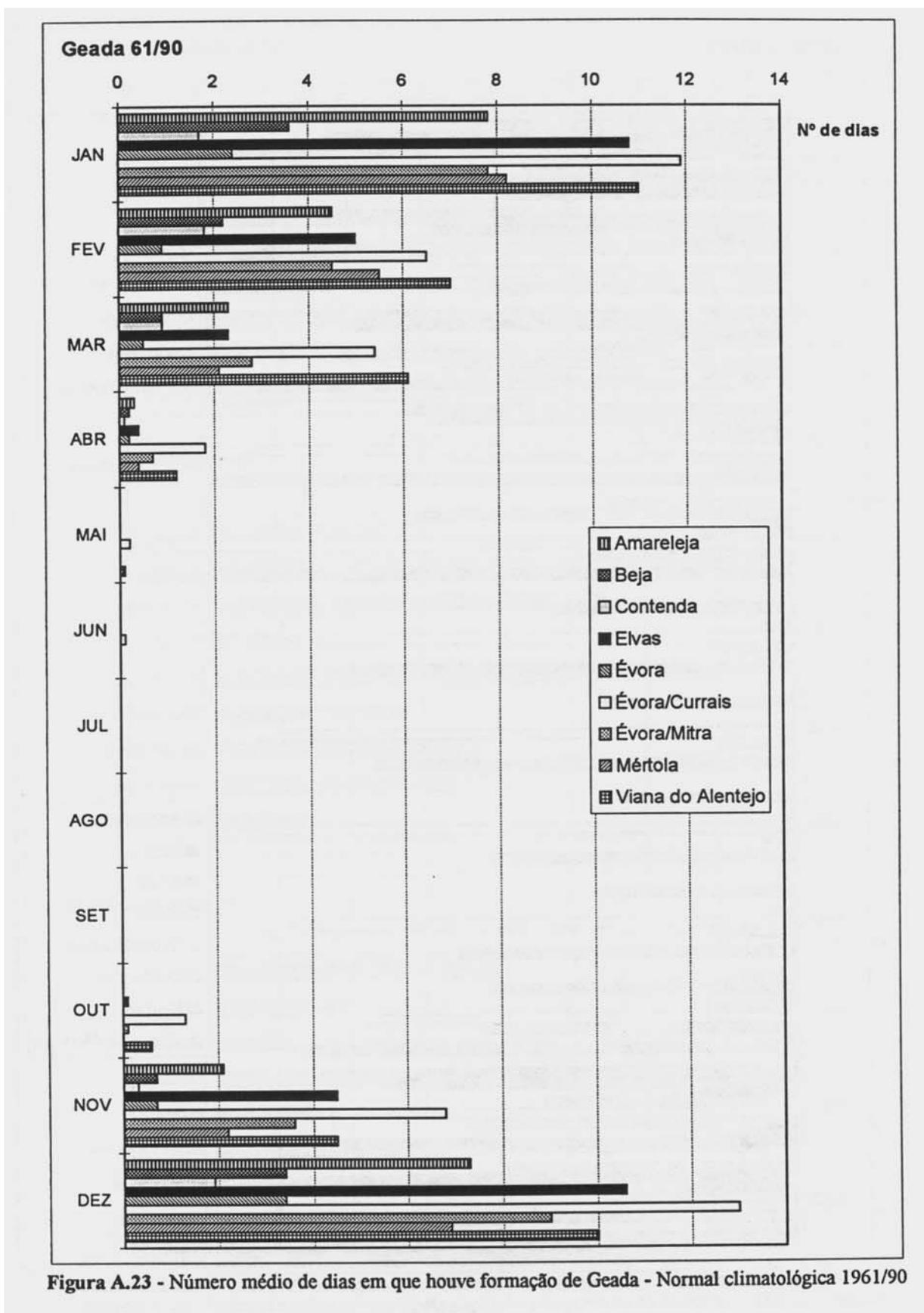


Figura A20 - Classes de Nebulosidade - Normal climatológica 1961/90







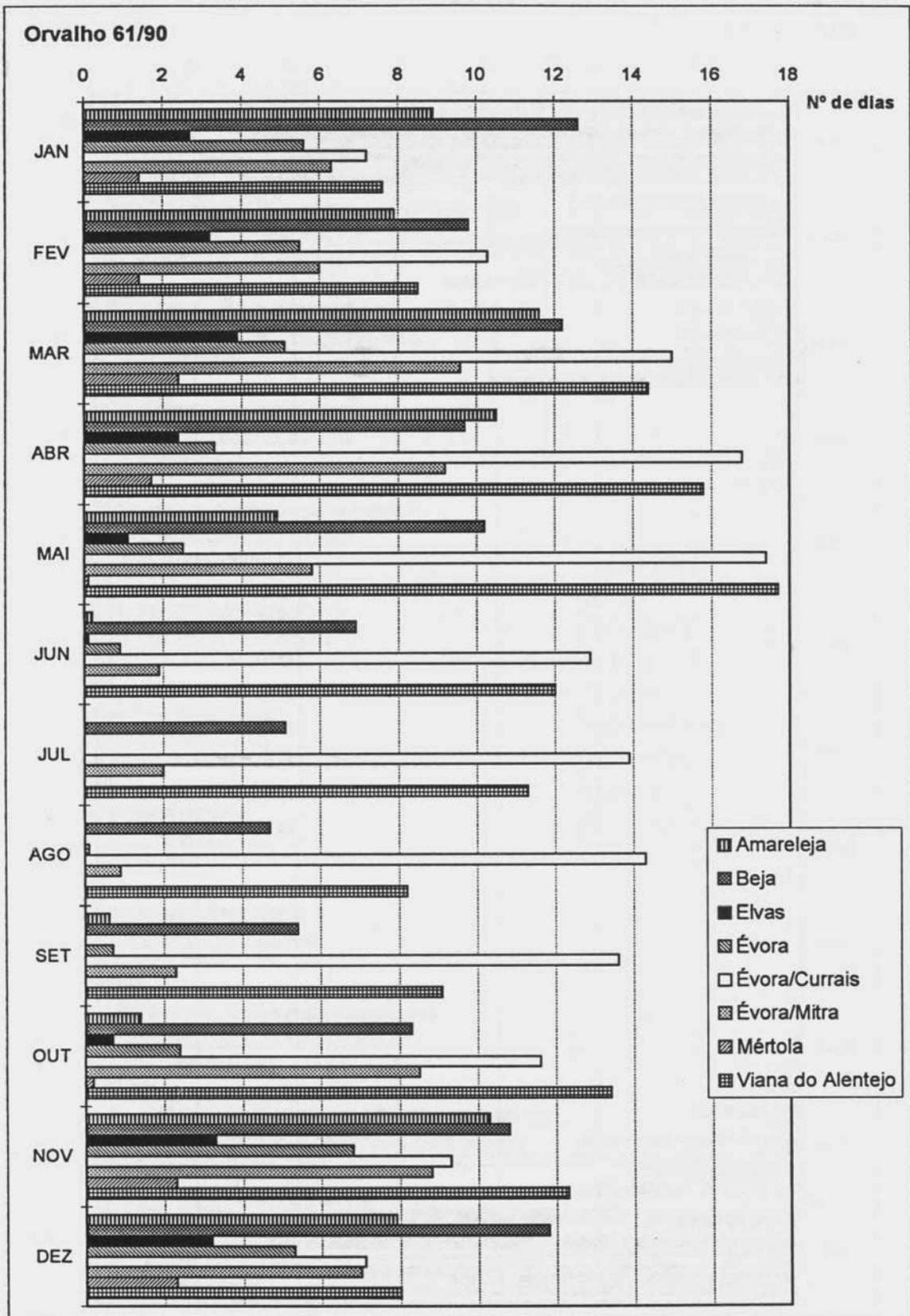
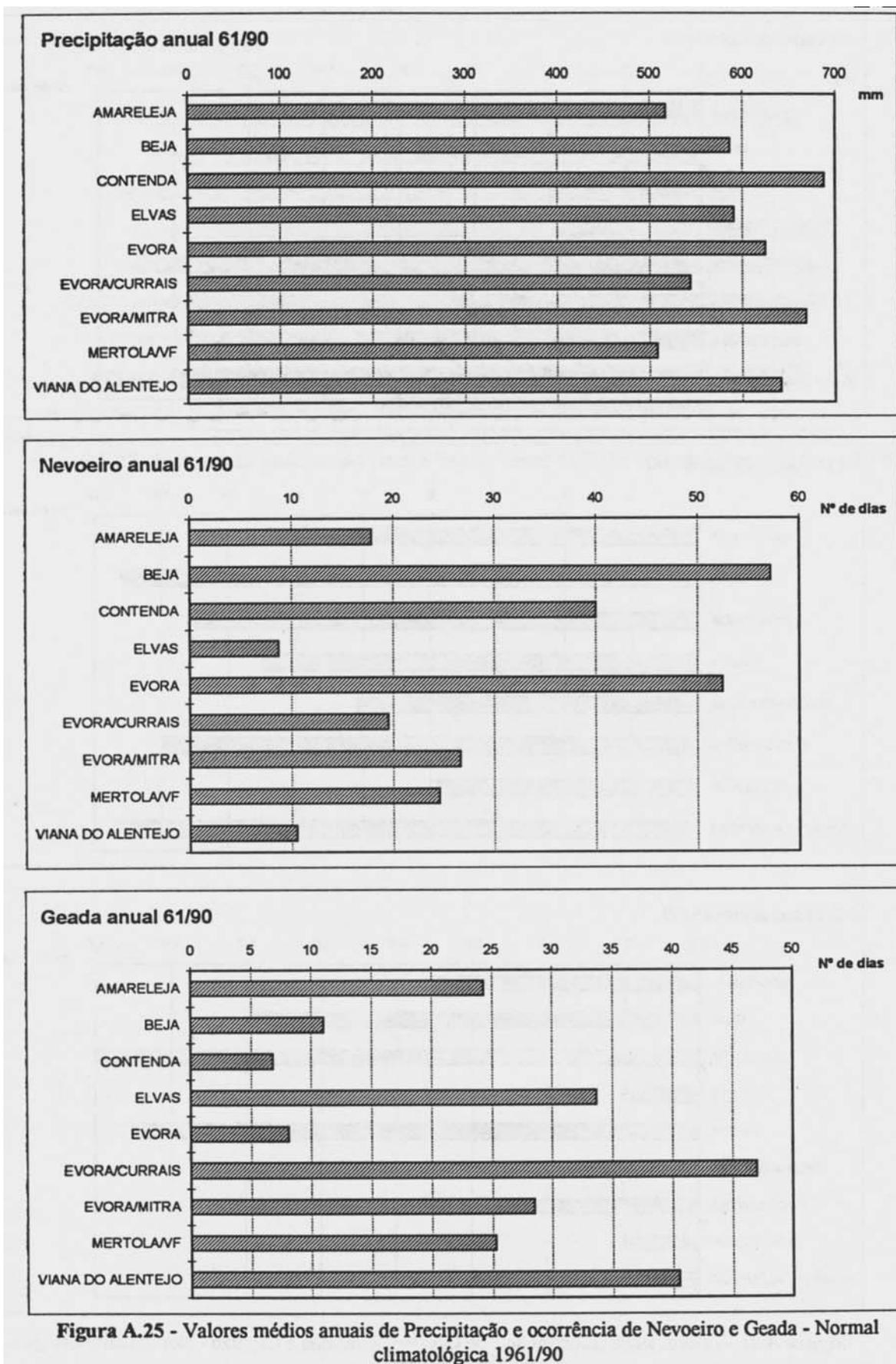


Figura A.24 - Número médio de dias em que houve formação de Orvalho - Normal climatológica 1961/90



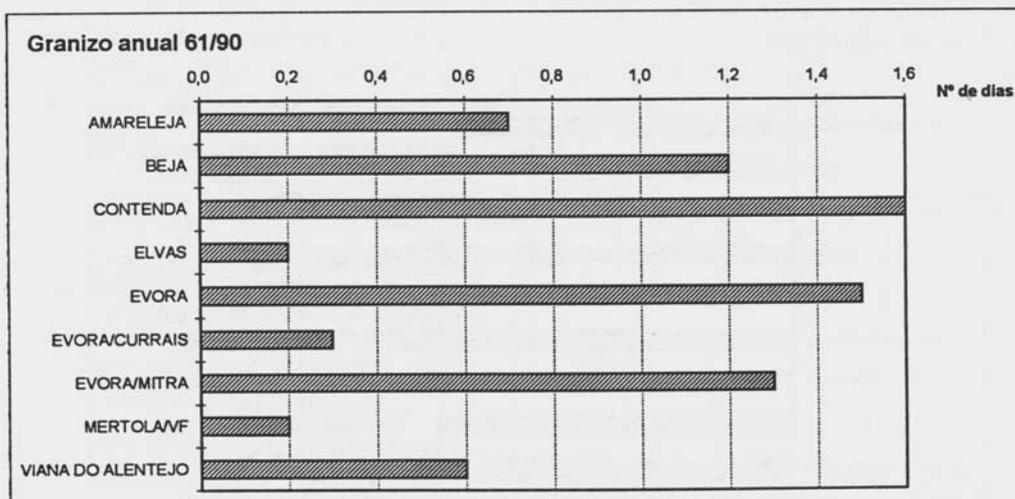
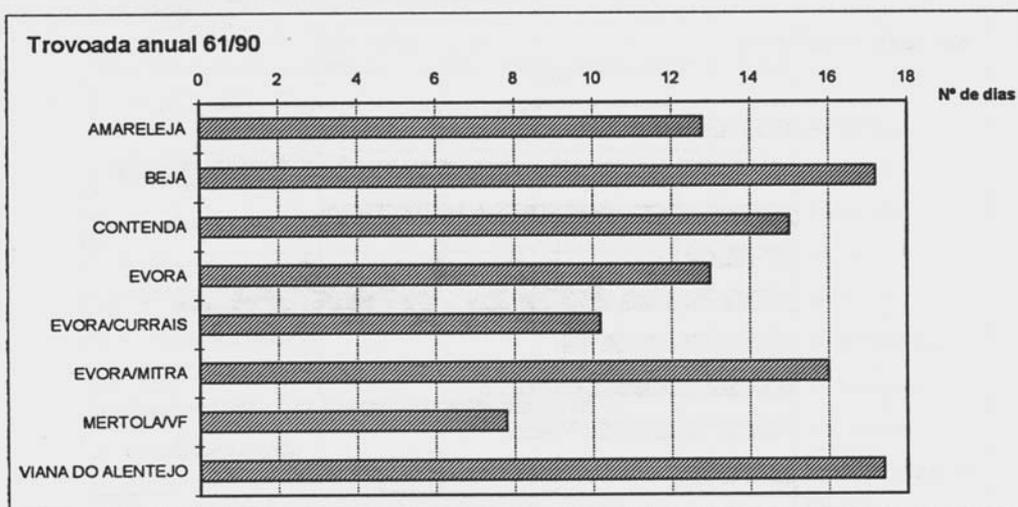
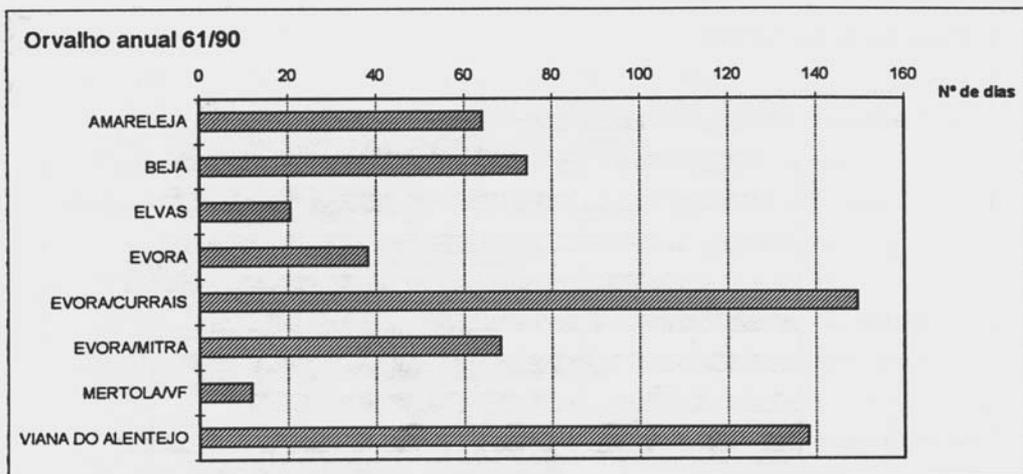


Figura A.26 - Valores anuais da ocorrência de Orvalho, Trovoada e Granizo - Normal climatológica 1961/90

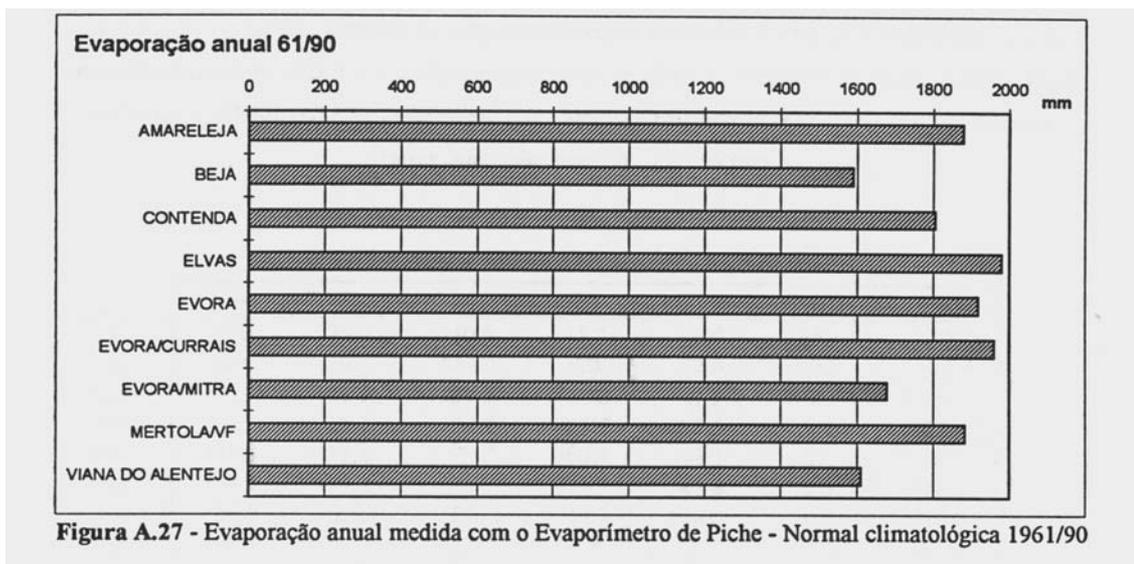


Figura A.27 - Evaporação anual medida com o Evaporímetro de Piche - Normal climatológica 1961/90

Quadro A.1 - Valores mensais da evapotranspiração potencial (ETP), da precipitação (R), do armazenamento de água no solo (A) e da sua variação (dA), da evapotranspiração real (ETR), da deficiência hídrica (D) e do escoamento (S), calculados a partir das normais climatológicas e para um solo com $A_{\text{máx}} = 150 \text{ mm}$

Estação Meteorológica de Alvalade

	ETP	R	A	dA	ETR	S	D
Jan	19.0	79.7	150.0	25.3	19.0	35.4	0.0
Fev	32.4	76.3	150.0	0.0	32.4	43.9	0.0
Mar	62.5	49.1	137.2	-12.8	61.9	0.0	0.6
Abr	93.5	53.1	104.8	-32.4	85.5	0.0	8.0
Mai	138.3	33.4	52.1	-52.7	86.1	0.0	52.2
Jun	163.0	15.1	19.4	-32.7	47.8	0.0	115.3
Jul	186.6	2.9	5.7	-13.7	16.6	0.0	170.0
Ago	168.9	1.5	1.9	-3.8	5.3	0.0	163.6
Set	108.2	22.3	1.1	-0.8	23.1	0.0	85.1
Out	64.6	68.1	4.6	3.5	64.6	0.0	0.0
Nov	28.0	81.3	57.9	53.3	28.0	0.0	0.0
Dez	14.4	81.2	124.7	66.8	14.4	0.0	0.0
Ano	1079.4	564.0			484.7	79.3	594.7

Estação Meteorológica de Alcácer do Sal

	ETP	R	A	dA	ETR	S	D
Jan	21.6	77.1	150.0	33.1	21.6	22.4	0.0
Fev	36.5	80.8	150.0	0.0	36.5	44.3	0.0
Mar	70.7	54.0	134.2	-15.8	69.8	0.0	0.9
Abr	99.5	55.4	100.0	-34.2	89.6	0.0	9.9
Mai	146.3	32.2	46.8	-53.3	85.5	0.0	60.8
Jun	166.9	18.2	17.3	-29.4	47.6	0.0	119.3
Jul	192.4	5.3	5.0	-12.4	17.7	0.0	174.7
Ago	179.5	2.6	1.5	-3.5	6.1	0.0	173.5
Set	115.1	21.3	0.8	-0.7	22.0	0.0	93.1
Out	69.1	59.7	0.8	0.0	59.7	0.0	9.4
Nov	32.2	79.2	47.8	47.0	32.2	0.0	0.0
Dez	17.9	87.0	116.9	69.1	17.9	0.0	0.0
Ano	1147.7	572.8			506.1	66.7	641.6

Estação Meteorológica de Amareleja

	ETP	R	A	dA	ETR	S	D
Jan	18.8	63.6	134.2	44.8	18.8	0.0	0.0
Fev	34.6	65.3	150.0	15.8	34.6	14.9	0.0
Mar	69.7	51.0	132.4	-17.6	68.6	0.0	1.1
Abr	99.6	50.3	95.3	-37.1	87.4	0.0	12.2
Mai	149.5	34.5	44.3	-51.0	85.5	0.0	64.0

Jun	183.3	28.7	15.8	-28.5	57.2	0.0	126.1
Jul	219.4	3.0	3.7	-12.1	15.1	0.0	204.3
Ago	201.1	1.4	1.0	-2.7	4.1	0.0	196.9
Set	137.5	22.6	0.5	-0.5	23.1	0.0	114.4
Out	81.5	58.5	0.4	-0.1	58.6	0.0	23.0
Nov	33.3	68.4	35.5	35.1	33.3	0.0	0.0
Dez	16.1	70.0	89.4	53.9	16.1	0.0	0.0
Ano	1244.4	517.3			502.4	14.9	742.0

Estação Meteorológica de Beja

	ETP	R	A	dA	ETR	S	D
Jan	28.6	81.1	142.0	52.5	28.6	0.0	0.0
Fev	42.4	79.5	150.0	8.0	42.4	29.1	0.0
Mar	78.5	54.2	127.5	-22.5	76.7	0.0	1.9
Abr	111.7	60.1	90.4	-37.1	97.2	0.0	14.5
Mai	163.6	35.5	38.5	-51.9	87.4	0.0	76.2
Jun	200.5	23.4	11.8	-26.7	50.1	0.0	150.5
Jul	244.7	2.5	2.4	-9.5	12.0	0.0	232.7
Ago	225.8	2.8	0.5	-1.8	4.6	0.0	221.2
Set	153.2	22.4	0.2	-0.3	22.7	0.0	130.5
Out	91.4	65.1	0.2	0.0	65.1	0.0	26.2
Nov	43.4	76.5	33.3	33.1	43.4	0.0	0.0
Dez	27.1	83.3	89.5	56.2	27.1	0.0	0.0
Ano	1410.9	586.4			557.3	29.1	853.6

Estação Meteorológica de Benavila

	ETP	R	A	dA	ETR	S	D
Jan	19.8	88.3	150.0	22.6	19.8	45.9	0.0
Fev	36.0	80.5	150.0	0.0	36.0	44.5	0.0
Mar	71.8	64.5	142.8	-7.2	71.7	0.0	0.2
Abr	99.5	51.6	103.8	-39.0	90.6	0.0	8.9
Mai	146.3	38.8	50.7	-53.1	91.9	0.0	54.4
Jun	166.6	30.6	20.5	-30.2	60.8	0.0	105.8
Jul	197.9	6.1	5.7	-14.8	20.9	0.0	177.0
Ago	180.0	3.5	1.8	-3.9	7.4	0.0	172.6
Set	117.0	25.8	1.0	-0.8	26.6	0.0	90.4
Out	68.5	73.6	6.0	5.1	68.5	0.0	0.0
Nov	27.9	77.3	55.4	49.4	27.9	0.0	0.0
Dez	14.5	86.5	127.4	72.0	14.5	0.0	0.0
Ano	1146.0	627.1			536.7	90.4	609.3

Estação Meteorológica de Contenda

	ETP	R	A	dA	ETR	S	D
Jan	31.1	97.8	150.0	38.6	31.1	28.1	0.0
Fev	44.7	84.0	150.0	0.0	44.7	39.3	0.0
Mar	78.7	65.4	137.3	-12.7	78.1	0.0	0.6

Abr	102.2	69.5	110.4	-26.9	96.4	0.0	5.8
Mai	148.9	40.9	53.8	-56.7	97.6	0.0	51.3
Jun	178.0	31.6	20.3	-33.5	65.1	0.0	112.9
Jul	219.1	6.6	4.9	-15.3	21.9	0.0	197.2
Ago	202.6	4.6	1.3	-3.6	8.2	0.0	194.4
Set	139.8	31.2	0.6	-0.7	31.9	0.0	107.9
Out	86.5	75.4	0.6	0.0	75.4	0.0	11.0
Nov	45.0	91.0	46.6	46.0	45.0	0.0	0.0
Dez	25.9	90.7	111.4	64.8	25.9	0.0	0.0
Ano	1302.3	688.7			621.3	67.4	681.0

Estação Meteorológica de Elvas

	ETP	R	A	dA	ETR	S	D
Jan	24.4	77.5	150.0	45.8	24.4	7.3	0.0
Fev	41.1	79.4	150.0	0.0	41.1	38.3	0.0
Mar	77.7	59.9	133.2	-16.8	76.7	0.0	1.0
Abr	110.7	54.7	91.7	-41.5	96.2	0.0	14.5
Mai	163.3	37.5	39.7	-52.1	89.6	0.0	73.7
Jun	194.7	25.3	12.8	-26.8	52.1	0.0	142.6
Jul	230.7	4.7	2.8	-10.0	14.7	0.0	216.0
Ago	207.4	1.8	0.7	-2.1	3.9	0.0	203.5
Set	137.4	28.0	0.3	-0.4	28.4	0.0	109.0
Out	81.0	62.9	0.3	0.0	62.9	0.0	18.1
Nov	35.3	81.2	46.2	45.9	35.3	0.0	0.0
Dez	20.1	78.2	104.2	58.1	20.1	0.0	0.0
Ano	1323.9	591.1			545.5	45.6	778.3

Estação Meteorológica de Évora

	ETP	R	A	dA	ETR	S	D
Jan	31.6	87.5	145.4	55.9	31.6	0.0	0.0
Fev	45.7	85.9	150.0	4.6	45.7	35.6	0.0
Mar	84.7	57.0	124.7	-25.3	82.3	0.0	2.4
Abr	116.2	56.0	83.5	-41.2	97.2	0.0	19.0
Mai	165.9	38.3	35.7	-47.8	86.1	0.0	79.7
Jun	196.0	28.7	11.7	-24.0	52.7	0.0	143.3
Jul	240.8	7.5	2.5	-9.2	16.7	0.0	224.1
Ago	223.3	3.7	0.6	-1.9	5.6	0.0	217.7
Set	152.7	26.8	0.2	-0.3	27.1	0.0	125.6
Out	91.5	69.2	0.2	0.0	69.2	0.0	22.2
Nov	45.9	79.6	33.9	33.7	45.9	0.0	0.0
Dez	29.0	84.6	89.5	55.6	29.0	0.0	0.0
Ano	1423.2	624.8			589.2	35.6	834.0

Estação Meteorológica de Évora/Currais

	ETP	R	A	dA	ETR	S	D
Jan	23.2	78.5	133.2	55.3	23.2	0.0	0.0
Fev	38.8	83.7	150.0	16.8	38.8	28.2	0.0

Mar	74.5	59.8	136.0	-14.0	73.8	0.0	0.7
Abr	106.5	46.9	91.4	-44.6	91.5	0.0	15.0
Mai	163.8	34.6	38.6	-52.8	87.4	0.0	76.4
Jun	193.1	26.2	12.7	-25.9	52.1	0.0	140.9
Jul	233.9	3.5	2.7	-10.0	13.5	0.0	220.5
Ago	221.1	2.6	0.6	-2.1	4.7	0.0	216.4
Set	144.6	18.9	0.3	-0.4	19.3	0.0	125.4
Out	86.4	54.3	0.2	-0.1	54.4	0.0	32.0
Nov	37.3	62.6	25.5	25.3	37.3	0.0	0.0
Dez	19.8	72.2	77.9	52.4	19.8	0.0	0.0
Ano	1342.9	543.8			515.6	28.2	827.3

Estação Meteorológica de Évora/Mitra

	ETP	R	A	dA	ETR	S	D
Jan	21.4	94.9	150.0	36.6	21.4	36.8	0.0
Fev	37.3	107.5	150.0	0.0	37.3	70.2	0.0
Mar	74.7	75.2	150.0	0.0	74.7	0.5	0.0
Abr	104.2	53.2	106.8	-43.2	96.4	0.0	7.8
Mai	155.6	43.3	50.5	-56.2	99.5	0.0	56.0
Jun	179.4	25.4	18.1	-32.4	57.8	0.0	121.6
Jul	215.0	3.1	4.4	-13.7	16.8	0.0	198.2
Ago	202.2	3.1	1.2	-3.2	6.3	0.0	195.9
Set	132.1	32.9	0.6	-0.6	33.5	0.0	98.6
Out	75.9	64.4	0.6	0.0	64.4	0.0	11.5
Nov	34.4	80.1	46.3	45.7	34.4	0.0	0.0
Dez	19.0	86.1	113.4	67.1	19.0	0.0	0.0
Ano	1251.2	669.2			561.6	107.6	689.6

Estação Meteorológica de Grândola

	ETP	R	A	dA	ETR	S	D
Jan	20.3	73.8	150.0	21.2	20.3	32.3	0.0
Fev	34.2	112.1	150.0	0.0	34.2	77.9	0.0
Mar	65.9	78.6	150.0	0.0	65.9	12.7	0.0
Abr	94.4	42.0	105.8	-44.2	86.2	0.0	8.2
Mai	137.7	31.9	52.2	-53.5	85.4	0.0	52.3
Jun	159.3	15.1	20.0	-32.3	47.4	0.0	112.0
Jul	183.1	2.2	6.0	-14.0	16.2	0.0	166.9
Ago	168.2	1.5	2.0	-4.0	5.5	0.0	162.7
Set	115.6	15.4	1.0	-1.0	16.4	0.0	99.3
Out	66.3	76.9	11.6	10.6	66.3	0.0	0.0
Nov	27.7	79.7	63.6	52.0	27.7	0.0	0.0
Dez	14.5	79.7	128.8	65.2	14.5	0.0	0.0
Ano	1087.3	608.9			486.0	122.9	601.3

Estação Meteorológica de Marvão

	ETP	R	A	dA	ETR	S	D
Jan	34.0	133.9	150.0	0.0	34.0	99.9	0.0

Fev	48.8	126.4	150.0	0.0	48.8	77.6	0.0
Mar	75.4	89.4	150.0	0.0	75.4	14.0	0.0
Abr	98.4	64.9	120.0	-30.0	94.9	0.0	3.5
Mai	137.3	51.9	67.9	-52.1	104.0	0.0	33.3
Jun	156.0	45.6	32.5	-35.4	81.0	0.0	75.0
Jul	191.9	5.2	9.4	-23.2	28.4	0.0	163.5
Ago	186.5	8.3	2.9	-6.5	14.8	0.0	171.7
Set	123.4	54.1	1.8	-1.1	55.2	0.0	68.3
Out	84.4	106.6	24.0	22.2	84.4	0.0	0.0
Nov	47.4	100.6	77.2	53.2	47.4	0.0	0.0
Dez	32.4	115.0	150.0	72.8	32.4	9.8	0.0
Ano	1215.9	901.9			700.6	201.3	515.3

Estação Meteorológica de Mértola/Vale Formoso

	ETP	R	A	dA	ETR	S	D
Jan	22.3	65.5	133.4	43.2	22.3	0.0	0.0
Fev	38.7	57.4	150.0	16.6	38.7	2.2	0.0
Mar	71.6	45.5	126.0	-24.0	69.5	0.0	2.1
Abr	104.6	48.1	86.5	-39.5	87.6	0.0	16.9
Mai	156.5	29.6	37.1	-49.4	79.0	0.0	77.5
Jun	184.7	21.4	12.5	-24.6	46.0	0.0	138.7
Jul	225.4	3.9	2.9	-9.6	13.5	0.0	211.9
Ago	206.0	2.5	0.7	-2.1	4.6	0.0	201.4
Set	135.7	20.1	0.3	-0.4	20.5	0.0	115.2
Out	81.9	68.5	0.3	0.0	68.5	0.0	13.4
Nov	36.6	73.4	37.2	36.8	36.6	0.0	0.0
Dez	18.8	71.9	90.2	53.1	18.8	0.0	0.0
Ano	1282.9	507.8			505.6	2.2	777.3

Estação Meteorológica de Monte Velho

	ETP	R	A	dA	ETR	S	D
Jan	30.4	51.8	121.9	21.4	30.4	0.0	0.0
Fev	47.1	69.7	144.5	22.6	47.1	0.0	0.0
Mar	85.0	55.1	118.4	-26.1	81.2	0.0	3.8
Abr	112.5	56.0	81.3	-37.2	93.2	0.0	19.3
Mai	150.1	28.6	36.1	-45.1	73.7	0.0	76.4
Jun	153.5	11.6	14.0	-22.1	33.7	0.0	119.8
Jul	168.5	6.1	4.8	-9.3	15.4	0.0	153.1
Ago	155.5	1.4	1.7	-3.1	4.5	0.0	151.1
Set	111.8	14.0	0.9	-0.8	14.8	0.0	97.0
Out	75.7	59.6	0.8	-0.1	59.7	0.0	16.1
Nov	42.0	80.7	39.5	38.7	42.0	0.0	0.0
Dez	27.7	88.8	100.5	61.1	27.7	0.0	0.0
Ano	1160.0	523.4			523.4	0.0	636.6

Estação Meteorológica de Mora

	ETP	R	A	dA	ETR	S	D
--	------------	----------	----------	-----------	------------	----------	----------

Jan	19.3	80.8	150.0	31.4	19.3	30.1	0.0
Fev	35.5	85.6	150.0	0.0	35.5	50.1	0.0
Mar	70.0	59.4	139.8	-10.2	69.6	0.0	0.4
Abr	102.0	57.2	103.6	-36.1	93.3	0.0	8.7
Mai	150.2	37.2	48.8	-54.9	92.1	0.0	58.2
Jun	173.8	26.8	18.3	-30.5	57.3	0.0	116.5
Jul	203.3	8.5	5.0	-13.3	21.8	0.0	181.4
Ago	183.4	4.4	1.5	-3.5	7.9	0.0	175.5
Set	119.3	29.3	0.8	-0.7	30.0	0.0	89.3
Out	68.9	64.9	0.8	0.0	64.9	0.0	3.9
Nov	29.1	81.5	53.2	52.4	29.1	0.0	0.0
Dez	16.2	81.6	118.6	65.4	16.2	0.0	0.0
Ano	1170.9	617.9			537.0	80.2	633.9

Estação Meteorológica de Pinheiro da Cruz

	ETP	R	A	dA	ETR	S	D
Jan	23.6	76.3	150.0	24.9	23.6	27.8	0.0
Fev	39.2	70.3	150.0	0.0	39.2	31.1	0.0
Mar	75.7	38.2	116.8	-33.2	71.4	0.0	4.3
Abr	106.4	62.8	87.4	-29.4	92.2	0.0	14.1
Mai	144.5	31.4	41.1	-46.3	77.7	0.0	66.8
Jun	167.2	13.9	14.8	-26.3	40.2	0.0	127.0
Jul	189.0	12.8	4.6	-10.2	23.0	0.0	165.9
Ago	173.0	3.3	1.5	-3.1	6.4	0.0	166.6
Set	119.6	16.1	0.7	-0.7	16.8	0.0	102.8
Out	71.1	73.3	3.0	2.2	71.1	0.0	0.0
Nov	35.3	99.0	66.7	63.7	35.3	0.0	0.0
Dez	21.0	79.5	125.1	58.5	21.0	0.0	0.0
Ano	1165.6	576.9			518.0	58.9	647.6

Estação Meteorológica de Portalegre

	ETP	R	A	dA	ETR	S	D
Jan	42.1	124.9	150.0	8.3	42.1	74.5	0.0
Fev	51.4	119.1	150.0	0.0	51.4	67.7	0.0
Mar	91.9	85.5	143.8	-6.2	91.7	0.0	0.1
Abr	109.6	81.3	119.0	-24.7	106.0	0.0	3.6
Mai	153.5	52.6	60.8	-58.3	110.9	0.0	42.6
Jun	184.2	40.2	23.3	-37.5	77.7	0.0	106.5
Jul	230.1	7.4	5.3	-18.0	25.4	0.0	204.7
Ago	218.8	7.6	1.3	-4.0	11.6	0.0	207.2
Set	149.7	43.7	0.6	-0.7	44.4	0.0	105.3
Out	97.2	92.4	0.6	0.0	92.4	0.0	4.8
Nov	53.4	116.9	64.2	63.5	53.4	0.0	0.0
Dez	39.8	117.3	141.7	77.5	39.8	0.0	0.0
Ano	1421.6	888.9			746.7	142.2	674.9

Estação Meteorológica de Sines

	ETP	R	A	dA	ETR	S	D
Jan	53.4	68.4	59.2	15.0	53.4	0.0	0.0
Fev	64.2	60.8	57.9	-1.3	62.1	0.0	2.1
Mar	99.4	38.1	38.5	-19.4	57.5	0.0	41.9
Abr	119.9	49.4	24.0	-14.4	63.8	0.0	56.1
Mai	145.1	30.2	11.2	-12.9	43.1	0.0	102.1
Jun	146.4	8.5	4.5	-6.7	15.2	0.0	131.2
Jul	158.8	4.1	1.6	-2.9	7.0	0.0	151.8
Ago	146.6	1.9	0.6	-1.0	2.9	0.0	143.7
Set	107.6	16.6	0.3	-0.3	16.9	0.0	90.7
Out	87.6	59.7	0.3	-0.1	59.8	0.0	27.8
Nov	61.9	76.2	14.6	14.3	61.9	0.0	0.0
Dez	49.8	79.4	44.1	29.6	49.8	0.0	0.0
Ano	1240.8	493.3			493.3	0.0	747.5

Estação Meteorológica de Viana do Alentejo

	ETP	R	A	dA	ETR	S	D
Jan	24.1	88.2	150.0	37.2	24.1	26.9	0.0
Fev	40.2	93.8	150.0	0.0	40.2	53.6	0.0
Mar	76.0	57.6	132.7	-17.3	74.9	0.0	1.1
Abr	104.6	59.6	98.3	-34.4	94.0	0.0	10.6
Mai	150.2	35.3	45.7	-52.6	87.9	0.0	62.3
Jun	179.3	24.1	16.2	-29.5	53.6	0.0	125.7
Jul	214.5	6.7	4.1	-12.2	18.9	0.0	195.6
Ago	196.3	4.3	1.1	-2.9	7.2	0.0	189.1
Set	133.3	29.4	0.6	-0.6	30.0	0.0	103.4
Out	80.4	73.0	0.5	0.0	73.0	0.0	7.4
Nov	36.7	81.6	45.5	44.9	36.7	0.0	0.0
Dez	20.7	88.0	112.8	67.3	20.7	0.0	0.0
Ano	1256.3	641.6			561.1	80.5	695.1

Estação Meteorológica de Vila Fernando

	ETP	R	A	dA	ETR	S	D
Jan	24.7	73.3	150.0	46.6	24.7	2.0	0.0
Fev	38.7	70.1	150.0	0.0	38.7	31.4	0.0
Mar	75.6	56.1	131.7	-18.3	74.4	0.0	1.2
Abr	101.0	61.0	100.8	-30.8	91.8	0.0	9.2
Mai	145.9	34.7	48.1	-52.8	87.5	0.0	58.4
Jun	174.8	28.8	18.2	-29.9	58.7	0.0	116.1
Jul	208.2	6.8	4.7	-13.4	20.2	0.0	188.0
Ago	186.6	3.8	1.4	-3.3	7.1	0.0	179.4
Set	125.0	25.2	0.7	-0.7	25.9	0.0	99.1
Out	75.0	72.8	0.7	0.0	72.8	0.0	2.2
Nov	34.2	73.7	40.2	39.5	34.2	0.0	0.0
Dez	20.6	83.8	103.4	63.2	20.6	0.0	0.0
Ano	1210.3	590.1			556.7	33.4	653.6

Estação Meteorológica de Zambujeira

	ETP	R	A	dA	ETR	S	D
Jan	27.1	97.7	150.0	30.6	27.1	40.1	0.0
Fev	40.3	68.6	150.0	0.0	40.3	28.3	0.0
Mar	73.0	48.5	127.4	-22.6	71.1	0.0	1.9
Abr	101.5	51.5	91.3	-36.1	87.6	0.0	13.9
Mai	139.0	33.6	45.2	-46.1	79.7	0.0	59.3
Jun	153.9	14.7	17.9	-27.3	42.0	0.0	111.9
Jul	177.1	3.4	5.6	-12.3	15.7	0.0	161.5
Ago	161.2	2.1	1.9	-3.7	5.8	0.0	155.4
Set	112.1	19.7	1.1	-0.9	20.6	0.0	91.5
Out	71.6	76.7	6.2	5.1	71.6	0.0	0.0
Nov	35.1	89.0	60.1	53.9	35.1	0.0	0.0
Dez	22.1	81.5	119.4	59.4	22.1	0.0	0.0
Ano	1113.9	587.0			518.6	68.4	595.3

Quadro A.2 - Valores médios, desvios padrão e coeficientes de variação da ETP mensal no período 1961/90.

		Alvalade	Amareleja	Beja	Contenda	Currais	Elvas
Jan	Média	17.6	18.6	27.4	30.4	23.4	22.9
	d.padrão	3.2	4.5	6.6	8.6	5.3	4.4
	coef.var	18.2	24.2	24.1	28.3	22.6	19.2
Fev	Média	34.3	38.0	41.8	42.2	38.6	40.9
	d.padrão	4.0	6.7	7.8	9.7	6.6	6.8
	coef.var	11.7	17.6	18.7	23.0	17.1	16.6
Mar	Média	61.7	70.4	77.6	76.4	71.4	77.7
	d.padrão	8.1	10.2	13.5	10.8	11.9	11.8
	coef.var	13.1	14.5	17.4	14.1	16.7	15.2
Abr	Média	93.6	105.1	108.3	102.5	106.4	104.2
	d.padrão	16.3	18.4	16.0	20.1	21.1	15.5
	coef.var	17.4	17.5	14.8	19.6	19.8	14.9
Mai	Média	136.0	149.0	156.3	147.4	161.1	151.2
	d.padrão	19.7	20.9	18.3	32.9	25.5	22.2
	coef.var	14.5	14.0	11.7	22.3	15.8	14.7
Jun	Média	162.4	186.5	190.7	173.4	191.5	176.3
	d.padrão	16.7	21.3	27.0	26.4	23.0	20.7
	coef.var	10.3	11.4	14.2	15.2	12.0	11.7
Jul	Média	180.9	215.8	229.1	215.1	230.9	219.5
	d.padrão	12.4	18.6	28.0	27.7	21.1	18.1
	coef.var	6.9	8.6	12.2	12.9	9.1	8.2
Ago	Média	163.9	198.8	209.5	206.6	216.1	196.9
	d.padrão	16.6	17.0	16.1	27.2	21.6	16.7
	coef.var	10.1	8.6	7.7	13.2	10.0	8.5
Set	Média	107.3	140.8	147.9	138.7	142.0	132.2
	d.padrão	10.4	15.1	20.3	20.5	14.0	11.1
	coef.var	9.7	10.7	13.7	14.8	9.9	8.4
Out	Média	62.9	85.7	88.3	87.2	84.9	76.3
	d.padrão	8.6	19.6	17.3	22.2	16.3	14.5
	coef.var	13.7	22.9	19.6	25.5	19.2	19.0
Nov	Média	28.4	34.8	42.2	44.1	37.1	32.9
	d.padrão	4.2	9.8	11.2	9.9	7.9	4.9
	coef.var	14.8	28.2	26.5	22.4	21.3	14.9
Dez	Média	13.3	15.8	26.1	26.1	19.7	16.7
	d.padrão	4.5	4.9	6.6	7.9	7.2	2.9
	coef.var	33.8	31.0	25.3	30.3	36.5	17.4

Quadro A.2 - Valores médios, desvios padrão e coeficientes de variação da ETP mensal no período 1961/90. (Continuação)

		Évora	Mértola	Mitra	Viana	Vila Fer.
Jan	Média	31.2	22.4	20.2	22.9	24.1
	d.padrão	8.3	3.9	4.4	4.7	5.4
	coef.var	26.6	17.4	21.8	20.5	22.4
Fev	Média	45.1	39.1	37.1	42.8	38.1
	d.padrão	10.8	6.3	7.8	9.1	7.7
	coef.var	23.9	16.1	21.0	21.3	20.2
Mar	Média	83.1	74.1	73.8	77.0	73.2
	d.padrão	15.6	10.3	14.9	14.5	10.3
	coef.var	18.8	13.9	20.2	18.8	14.1
Abr	Média	113.2	106.8	102.9	110.5	100.2
	d.padrão	19.4	17.2	19.8	17.3	18.2
	coef.var	17.1	16.1	19.2	15.7	18.2
Mai	Média	155.2	159.5	142.9	154.6	141.5
	d.padrão	18.8	25.0	18.2	23.3	20.9
	coef.var	12.1	15.7	12.7	15.1	14.8
Jun	Média	181.8	185.3	177.5	186.0	167.7
	d.padrão	26.7	21.5	19.7	25.5	20.6
	coef.var	14.7	11.6	11.1	13.7	12.3
Jul	Média	223.5	219.8	209.5	213.2	199.3
	d.padrão	31.1	20.1	19.4	23.5	16.3
	coef.var	13.9	9.1	9.3	11.0	8.2
Ago	Média	209.1	203.4	198.9	195.7	177.7
	d.padrão	21.0	16.5	23.1	17.3	14.5
	coef.var	10.0	8.1	11.6	8.8	8.2
Set	Média	144.0	137.2	128.3	137.9	121.6
	d.padrão	17.7	14.2	18.5	16.2	14.4
	coef.var	12.3	10.3	14.4	11.7	11.8
Out	Média	86.9	84.2	77.8	80.8	75.3
	d.padrão	18.6	16.1	15.7	16.0	15.4
	coef.var	21.4	19.1	20.2	19.8	20.5
Nov	Média	45.7	37.6	35.1	37.1	33.6
	d.padrão	14.2	8.8	9.7	8.6	10.3
	coef.var	31.1	23.4	27.6	23.2	30.7
Dez	Média	28.6	18.7	16.7	19.2	20.1
	d.padrão	8.0	3.7	4.9	4.5	5.1
	coef.var	28.0	19.8	29.3	23.4	25.4

Quadro A.3 - Balanços hídricos correspondentes ao 2º decil da precipitação (R2), para os locais indicados. Símbolos como no texto. U é o valor máximo utilizável para os solos de cada local, em mm de água/m de solo.

Estação Meteorológica de Alvalade

	ETP	R2	A	dA	ETR	S	D
Jan	17.6	35.1	32.3	17.5	17.6	0.0	0.0
Fev	34.3	21.3	29.8	-2.5	23.8	0.0	10.5
Mar	61.7	14.7	22.2	-7.6	22.3	0.0	39.4
Abr	93.6	17.6	13.8	-8.4	26.0	0.0	67.6
Mai	136.0	8.9	6.2	-7.6	16.4	0.0	119.6
Jun	162.4	0.7	2.3	-4.0	4.6	0.0	157.8
Jul	180.9	0.0	0.7	-1.5	1.5	0.0	179.4
Ago	163.9	0.0	0.3	-0.5	0.5	0.0	163.4
Set	107.3	1.6	0.1	-0.1	1.7	0.0	105.6
Out	62.9	12.2	0.0	-0.1	12.4	0.0	50.5
Nov	28.4	33.5	5.1	5.1	28.4	0.0	0.0
Dez	13.3	23.0	14.8	9.7	13.3	0.0	0.0
Ano	1062.3	168.5	U=160 mm		168.5	0.0	893.8

Estação Meteorológica de Amareleja

	ETP	R2	A	dA	ETR	S	D
Jan	18.6	22.0	7.9	3.4	18.6	0.0	0.0
Fev	38.0	15.8	6.9	-1.0	16.8	0.0	21.2
Mar	70.4	21.5	5.1	-1.8	23.3	0.0	47.1
Abr	105.1	18.0	2.9	-2.1	20.1	0.0	85.0
Mai	149.0	12.2	1.2	-1.7	13.9	0.0	135.1
Jun	186.5	9.2	0.4	-0.8	10.0	0.0	176.5
Jul	215.8	0.0	0.1	-0.3	0.3	0.0	215.5
Ago	198.8	0.0	0.0	-0.1	0.1	0.0	198.7
Set	140.8	2.0	0.0	0.0	2.0	0.0	138.8
Out	85.7	4.3	0.0	0.0	4.3	0.0	81.4
Nov	34.8	26.6	0.0	0.0	26.6	0.0	8.2
Dez	15.8	20.3	4.5	4.5	15.8	0.0	0.0
Ano	1259.3	151.9	U=160 mm		151.9	0.0	1107.4

Estação Meteorológica de Beja

	ETP	R2	A	dA	ETR	S	D
Jan	27.4	35.2	8.0	7.8	27.4	0.0	0.0
Fev	41.8	21.1	7.3	-0.7	21.7	0.0	20.1

Mar	77.6	22.1	5.7	-1.6	23.7	0.0	53.9
Abr	108.3	25.0	4.0	-1.7	26.7	0.0	81.6
Mai	156.3	10.6	2.1	-1.9	12.5	0.0	143.8
Jun	190.7	2.6	0.9	-1.2	3.8	0.0	186.9
Jul	229.1	0.0	0.3	-0.6	0.6	0.0	228.5
Ago	209.5	0.0	0.1	-0.2	0.2	0.0	209.3
Set	147.9	2.4	0.1	-0.1	2.4	0.0	145.5
Out	88.3	18.0	0.1	0.0	18.1	0.0	70.2
Nov	42.2	31.2	0.0	-0.1	31.2	0.0	11.0
Dez	26.1	26.3	0.2	0.2	26.1	0.0	0.0
Ano	1345.2	194.5	U=230 mm		194.5	0.0	1150.7

Estação Meteorológica de Contenda

	ETP	R2	A	dA	ETR	S	D
Jan	30.4	47.1	15.0	1.8	30.4	14.9	0.0
Fev	42.2	28.5	6.0	-9.0	37.5	0.0	4.7
Mar	76.4	22.8	0.2	-5.8	28.6	0.0	47.8
Abr	102.5	19.9	0.0	-0.2	20.1	0.0	82.4
Mai	147.4	11.9	0.0	0.0	11.9	0.0	135.5
Ago	206.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	206.6
Set	138.7	6.2	0.0	0.0	6.2	0.0	132.5
Out	87.2	8.9	0.0	0.0	8.9	0.0	78.3
Nov	44.1	40.2	0.0	0.0	40.2	0.0	3.9
Dez	26.1	39.3	13.2	13.2	26.1	0.0	0.0
Ano	1290.1	229.6	U=15 mm		214.7	14.9	1075.4

Estação Meteorológica de Elvas

	ETP	R2	A	dA	ETR	S	D
Jan	22.9	30.9	29.2	8.0	22.9	0.0	0.0
Fev	40.9	21.9	25.9	-3.3	25.2	0.0	15.7
Mar	77.7	23.3	18.5	-7.5	30.8	0.0	46.9
Abr	104.2	15.8	10.6	-7.8	23.6	0.0	80.6
Mai	151.2	11.8	4.4	-6.2	18.0	0.0	133.2
Jun	176.3	5.8	1.5	-2.9	8.7	0.0	167.6
Jul	219.5	0.0	0.4	-1.1	1.1	0.0	218.4
Ago	196.9	0.0	0.1	-0.3	0.3	0.0	196.6
Set	132.2	2.8	0.1	-0.1	2.9	0.0	129.3
Out	76.3	20.6	0.0	0.0	20.6	0.0	55.7
Nov	32.9	43.7	10.8	10.8	32.9	0.0	0.0
Dez	16.7	27.1	21.2	10.4	16.7	0.0	0.0
Ano	1247.7	203.7	U=160 mm		203.7	0.0	1044.0

Estação Meteorológica de Évora

	ETP	R2	A	dA	ETR	S	D
Jan	31.2	34.8	3.6	3.6	31.2	0.0	0.0

Fev	45.1	25.4	3.2	-0.4	25.8	0.0	19.3
Mar	83.1	19.5	2.2	-1.0	20.5	0.0	62.6
Abr	113.2	20.3	1.2	-0.9	21.2	0.0	92.0
Mai	155.2	9.0	0.5	-0.7	9.7	0.0	145.5
Jun	181.8	3.6	0.2	-0.3	3.9	0.0	177.9
Jul	223.5	0.0	0.0	-0.1	0.1	0.0	223.4
Ago	209.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	209.1
Set	144.0	4.2	0.0	0.0	4.2	0.0	139.8
Out	86.9	17.6	0.0	0.0	17.6	0.0	69.3
Nov	45.7	40.2	0.0	0.0	40.2	0.0	5.5
Dez	28.6	25.9	0.0	0.0	25.9	0.0	2.7
Ano	1347.4	200.5	U=165 mm		200.5	0.0	1146.9

Estação Meteorológica de Évora/Currais

	ETP	R2	A	dA	ETR	S	D
Jan	23.4	25.3	6.9	1.9	23.4	0.0	0.0
Fev	38.6	33.2	6.7	-0.2	33.4	0.0	5.2
Mar	71.4	23.6	5.0	-1.7	25.3	0.0	46.1
Abr	106.4	10.8	2.8	-2.2	13.0	0.0	93.4
Mai	161.1	11.7	1.1	-1.7	13.4	0.0	147.7
Jun	191.5	5.5	0.4	-0.8	6.3	0.0	185.2
Jul	230.9	0.0	0.1	-0.3	0.3	0.0	230.6
Ago	216.1	0.0	0.0	-0.1	0.1	0.0	216.0
Set	142.0	1.7	0.0	0.0	1.7	0.0	140.3
Out	84.9	7.8	0.0	0.0	7.8	0.0	77.1
Nov	37.1	29.2	0.0	0.0	29.2	0.0	7.9
Dez	19.7	24.7	5.0	5.0	19.7	0.0	0.0
Ano	1323.1	173.5	U=165 mm		173.5	0.0	1149.6

Estação Meteorológica de Évora/Mitra

	ETP	R2	A	dA	ETR	S	D
Jan	20.2	32.4	21.0	12.2	20.2	0.0	0.0
Mar	73.8	23.0	15.8	-5.9	28.9	0.0	44.9
Abr	102.9	15.9	9.2	-6.6	22.5	0.0	80.4
Mai	142.9	12.7	4.1	-5.1	17.8	0.0	125.1
Jun	177.5	4.0	1.4	-2.7	6.7	0.0	170.8
Jul	209.5	0.0	0.4	-1.0	1.0	0.0	208.5
Ago	198.9	0.0	0.1	-0.3	0.3	0.0	198.6
Set	128.3	5.8	0.0	-0.1	5.9	0.0	122.4
Out	77.8	14.3	0.0	0.0	14.3	0.0	63.5
Nov	35.1	29.4	0.0	0.0	29.4	0.0	5.7
Dez	17.9	26.7	8.8	8.8	17.9	0.0	0.0
Ano	1221.9	202.0	U=160 mm		202.0	0.0	1019.9

Estação Meteorológica de Mértola/Vale Formoso

ETP	R2	A	dA	ETR	S	D
------------	-----------	----------	-----------	------------	----------	----------

Jan	22.4	26.5	6.4	4.1	22.4	0.0	0.0
Fev	39.1	19.6	4.1	-2.3	21.9	0.0	17.2
Mar	74.1	19.2	0.1	-4.0	23.2	0.0	50.9
Abr	106.8	18.7	0.0	-0.1	18.8	0.0	88.0
Mai	159.5	9.0	0.0	0.0	9.0	0.0	150.5
Jun	185.3	5.2	0.0	0.0	5.2	0.0	180.1
Jul	219.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	219.8
Ago	203.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	203.4
Set	137.2	1.1	0.0	0.0	1.1	0.0	136.1
Out	84.2	11.9	0.0	0.0	11.9	0.0	72.3
Nov	37.6	29.6	0.0	0.0	29.6	0.0	8.0
Dez	18.7	21.0	2.3	2.3	18.7	0.0	0.0
Ano	1288.1	161.8	U=15 mm		161.8	0.0	1126.3

Estação Meteorológica de Viana do Alentejo

	ETP	R2	A	dA	ETR	S	D
Jan	22.9	33.2	22.1	10.3	22.9	0.0	0.0
Fev	42.8	24.3	19.8	-2.4	26.6	0.0	16.2
Mar	77.0	19.2	13.9	-5.8	25.0	0.0	52.0
Abr	110.5	18.4	8.0	-6.0	24.4	0.0	86.1
Mai	154.6	6.0	3.2	-4.7	10.7	0.0	143.9
Jun	186.0	3.7	1.1	-2.2	5.9	0.0	180.1
Jul	213.2	0.0	0.3	-0.8	0.8	0.0	212.4
Ago	195.7	0.0	0.1	-0.2	0.2	0.0	195.5
Set	137.9	4.5	0.0	0.0	4.5	0.0	133.4
Out	80.8	15.8	0.0	0.0	15.8	0.0	65.0
Nov	37.1	39.2	2.1	2.1	37.1	0.0	0.0
Dez	19.2	28.9	11.8	9.7	19.2	0.0	0.0
Ano	1277.7	193.2	U=165 mm		193.2	0.0	1084.5

Estação Meteorológica de Vila Fernando

	ETP	R2	A	dA	ETR	S	D
Jan	24.1	30.3	9.4	6.2	24.1	0.0	0.0
Fev	38.1	20.8	8.4	-1.0	21.8	0.0	16.3
Mar	73.2	17.6	6.0	-2.5	20.1	0.0	53.1
Abr	100.2	19.6	3.6	-2.4	22.0	0.0	78.2
Mai	141.5	9.9	1.6	-2.0	11.9	0.0	129.6
Jun	167.7	7.8	0.6	-1.0	8.8	0.0	158.9
Jul	199.3	0.0	0.2	-0.4	0.4	0.0	198.9
Ago	177.7	0.0	0.1	-0.1	0.1	0.0	177.6
Set	121.6	3.5	0.0	0.0	3.5	0.0	118.1
Out	75.3	18.6	0.0	0.0	18.6	0.0	56.7
Nov	33.6	35.9	2.3	2.3	33.6	0.0	0.0
Ano	1172.4	185.0	U=160 mm		185.0	0.0	987.4

Quadro A.4 - Balanços hídricos correspondentes ao 8º decil da precipitação (R8), para os locais indicados. Símbolos como no texto. U é o valor máximo utilizável para os solos de cada local, em mm de água/m de solo.

Estação Meteorológica de Alvalade							
	ETP	R8	A	dA	ETR	S	D
Jan	17.6	125.4	160.0	0.0	17.6	107.8	0.0
Fev	34.3	140.0	160.0	0.0	34.3	105.7	0.0
Mar	61.7	83.0	160.0	0.0	61.7	21.3	0.0
Abr	93.6	80.4	147.3	-12.7	93.1	0.0	0.5
Mai	136.0	53.1	87.8	-59.6	112.7	0.0	23.3
Jun	162.4	26.6	37.6	-50.2	76.8	0.0	85.6
Jul	180.9	1.6	12.2	-25.3	26.9	0.0	154.0
Ago	163.9	1.9	4.4	-7.8	9.7	0.0	154.2
Set	107.3	35.1	2.8	-1.6	36.7	0.0	70.6
Out	62.9	132.8	72.7	69.9	62.9	0.0	0.0
Nov	28.4	118.8	160.0	87.3	28.4	3.1	0.0
Dez	13.3	151.7	160.0	0.0	13.3	138.4	0.0
Ano	1062.3	950.4	U=160 mm		574.1	376.3	488.2

Estação Meteorológica de Amareleja							
	ETP	R8	A	dA	ETR	S	D
Jan	18.6	103.9	160.0	11.4	18.6	73.9	0.0
Fev	38.0	110.5	160.0	0.0	38.0	72.5	0.0
Mar	70.4	77.8	160.0	0.0	70.4	7.4	0.0
Abr	105.1	77.8	134.9	-25.1	102.9	0.0	2.2
Mai	149.0	54.0	74.5	-60.4	114.4	0.0	34.6
Jun	186.5	46.6	31.1	-43.4	90.0	0.0	96.5
Jul	215.8	7.2	8.4	-22.6	29.8	0.0	186.0
Ago	198.8	2.8	2.5	-6.0	8.8	0.0	190.0
Set	140.8	34.5	1.3	-1.2	35.7	0.0	105.1
Out	85.7	93.9	9.5	8.2	85.7	0.0	0.0
Nov	34.8	98.9	73.6	64.1	34.8	0.0	0.0
Dez	15.8	90.8	148.6	75.0	15.8	0.0	0.0
Ano	1259.3	798.7	U=160 mm		644.9	153.8	614.4

Estação Meteorológica de Beja						
ETP	R8	A	dA	ETR	S	D

Jan	27.4	131.8	230.0	7.6	27.4	96.8	0.0
Fev	41.8	140.4	230.0	0.0	41.8	98.6	0.0
Mar	77.6	82.8	230.0	0.0	77.6	5.2	0.0
Abr	108.3	92.3	214.5	-15.5	107.8	0.0	0.5
Mai	156.3	61.6	142.1	-72.4	134.0	0.0	22.3
Jun	190.7	42.1	74.5	-67.6	109.7	0.0	81.0
Jul	229.1	5.4	28.2	-46.3	51.7	0.0	177.4
Ago	209.5	2.7	11.5	-16.7	19.4	0.0	190.1
Set	147.9	41.9	7.2	-4.2	46.1	0.0	101.8
Out	88.3	105.9	20.1	12.9	88.3	4.7	0.0
Nov	42.2	111.8	89.70	69.6	42.2	0.0	0.0
Dez	26.1	158.8	222.4	132.7	26.1	0.0	0.0
Ano	1345.2	977.5	U=230 mm		772.2	205.3	573.0

Estação Meteorológica de Contenda

	ETP	R8	A	dA	ETR	S	D
Jan	30.4	144.2	15.0	0.0	30.4	113.8	0.0
Fev	42.2	136.6	15.0	0.0	42.2	94.4	0.0
Mar	76.4	78.8	15.0	0.0	76.4	2.4	0.0
Abr	102.5	115.9	15.0	0.0	102.5	13.4	0.0
Mai	147.4	65.4	0.1	-14.9	80.3	0.0	67.1
Ago	206.6	7.6	0.0	0.0	7.6	0.0	199.0
Set	138.7	50.0	0.0	0.0	50.0	0.0	88.7
Out	87.2	117.4	15.0	15.0	87.2	15.2	0.0
Nov	44.1	130.0	15.0	0.0	44.1	85.9	0.0
Dez	26.1	164.2	15.0	0.0	26.1	138.1	0.0
Ano	1290.1	1071.4	U=15 mm		608.2	463.2	681.9

Estação Meteorológica de Elvas

	ETP	R8	A	dA	ETR	S	D
Jan	22.9	106.9	160.0	0.0	22.9	84.0	0.0
Fev	40.9	138.5	160.0	0.0	40.9	97.6	0.0
Mar	77.7	92.2	160.0	0.0	77.7	14.5	0.0
Abr	104.2	95.4	151.4	-8.6	104.0	0.0	0.2
Mai	151.2	52.8	81.9	-69.6	122.4	0.0	28.8
Jun	176.3	38.1	34.5	-47.4	85.5	0.0	90.8
Jul	219.5	6.6	9.1	-25.4	32.0	0.0	187.5
Ago	196.9	8.0	2.8	-6.3	14.3	0.0	182.6
Set	132.2	57.5	1.8	-1.0	58.5	0.0	73.7
Out	76.3	131.1	51.3	49.5	76.3	5.3	0.0
Nov	32.9	125.9	144.3	93.0	32.9	0.0	0.0
Dez	16.7	144.2	160.0	15.7	16.7	111.8	0.0
Ano	1247.7	997.2	U=160 mm		684.0	313.2	563.7

Estação Meteorológica de Évora

	ETP	R8	A	dA	ETR	S	D
Jan	31.2	133.2	165.0	0.0	31.2	102.0	0.0
Fev	45.1	147.4	165.0	0.0	45.1	102.3	0.0
Mar	83.1	85.1	165.0	0.0	83.1	2.0	0.0
Abr	113.2	86.5	140.3	-24.7	111.2	0.0	2.0
Mai	155.2	62.2	79.9	-60.5	122.7	0.0	32.5
Jun	181.8	51.8	36.3	-43.5	95.3	0.0	86.5
Jul	223.5	6.0	9.7	-26.6	32.6	0.0	190.9
Ago	209.1	4.1	2.8	-6.9	11.0	0.0	198.1
Set	144.0	49.5	1.6	-1.2	50.7	0.0	93.3
Out	86.9	121.8	31.3	29.7	86.9	5.2	0.0
Nov	45.7	115.8	101.4	70.1	45.7	0.0	0.0
Dez	28.6	147.2	165.0	63.6	28.6	55.0	0.0
Ano	1347.4	1010.6	U=165 mm		744.1	266.4	603.3

Estação Meteorológica de Évora/Currais

	ETP	R8	A	dA	ETR	S	D
Jan	23.4	130.5	165.0	11.5	23.4	95.6	0.0
Fev	38.6	144.5	165.0	0.0	38.6	105.9	0.0
Mar	71.4	84.2	165.0	0.0	71.4	12.8	0.0
Abr	106.4	79.2	139.9	-25.1	104.3	0.0	2.1
Mai	161.1	58.4	75.1	-64.8	123.2	0.0	37.9
Jun	191.5	35.5	29.2	-45.9	81.4	0.0	110.1
Jul	230.9	8.1	7.6	-21.6	29.7	0.0	201.2
Ago	216.1	4.6	2.1	-5.5	10.1	0.0	206.0
Set	142.0	35.3	1.1	-1.0	36.3	0.0	105.7
Out	84.9	81.6	1.1	0.0	81.6	0.0	3.3
Nov	37.1	88.9	52.9	51.8	37.1	0.0	0.0
Dez	19.7	120.3	153.5	100.6	19.7	0.0	0.0
Ano	1323.1	871.1	U=165 mm		656.8	214.3	666.3

Estação Meteorológica de Évora/Mitra

	ETP	R8	A	dA	ETR	S	D
Jan	20.2	162.8	160.0	0.2	20.2	142.4	0.0
Mar	73.8	106.8	160.0	0.0	73.8	33.0	0.0
Abr	102.9	83.6	141.8	-18.2	101.8	0.0	1.1
Mai	142.9	62.7	85.9	-55.9	118.6	0.0	24.3
Jun	177.5	37.5	35.8	-50.1	87.6	0.0	89.9
Jul	209.5	6.0	10.0	-25.8	31.8	0.0	177.7
Ago	198.9	3.7	3.0	-7.1	10.8	0.0	188.1
Set	128.3	46.5	1.8	-1.2	47.7	0.0	80.6
Out	77.8	11.7	1.2	-0.6	12.3	0.0	65.5
Nov	35.1	98.3	64.4	63.2	35.1	0.0	0.0
Dez	17.9	113.3	159.8	95.4	17.9	0.0	0.0
Ano	1221.9	921.7	U=160 mm		594.6	327.1	627.3

Estação Meteorológica de Mértola/Vale Formoso

	ETP	R8	A	dA	ETR	S	D
Jan	22.4	99.4	15.0	0.0	22.4	77.0	0.0
Fev	39.1	90.5	15.0	0.0	39.1	51.4	0.0
Mar	74.1	67.1	9.4	-5.6	74.1	0.0	0.0
Abr	106.8	66.8	0.7	-8.8	75.6	0.0	31.2
Mai	159.5	46.1	0.0	-0.7	46.8	0.0	112.7
Jun	185.3	33.4	0.0	0.0	33.4	0.0	151.9
Jul	219.8	6.8	0.0	0.0	6.8	0.0	213.0
Ago	203.4	5.5	0.0	0.0	5.5	0.0	197.9
Set	137.2	34.0	0.0	0.0	34.0	0.0	103.2
Out	84.2	121.5	15.0	15.0	84.2	22.3	0.0
Nov	37.6	121.4	15.0	0.0	37.6	83.8	0.0
Dez	18.7	112.6	15.0	0.0	18.7	93.9	0.0
Ano	1288.1	805.1	U=15 mm		478.1	328.4	810.0

Estação Meteorológica de Viana do Alentejo

	ETP	R8	A	dA	ETR	S	D
Jan	22.9	130.2	165.0	0.0	22.9	107.3	0.0
Fev	42.8	170.2	165.0	0.0	42.8	127.4	0.0
Mar	77.0	88.0	165.0	0.0	77.0	11.0	0.0
Abr	110.5	89.9	145.6	-19.4	109.3	0.0	1.2
Mai	154.6	64.9	84.6	-61.1	126.0	0.0	28.6
Jun	186.0	38.2	34.5	-50.0	88.2	0.0	97.8
Jul	213.2	6.6	9.9	-24.7	31.3	0.0	181.9
Ago	195.7	8.0	3.2	-6.7	14.7	0.0	181.0
Set	137.9	57.5	1.9	-1.2	58.7	0.0	79.2
Out	80.8	131.1	52.2	50.3	80.8	0.0	0.0
Nov	37.1	125.9	141.0	88.8	37.1	0.0	0.0
Dez	19.2	144.2	165.0	24.0	19.2	101.0	0.0
Ano	1277.7	1054.7	U=165 mm		708.0	346.7	569.7

Estação Meteorológica de Vila Fernando

	ETP	R8	A	dA	ETR	S	D
Jan	24.1	113.1	160.0	0.0	24.1	89.0	0.0
Fev	38.1	130.1	160.0	0.0	38.1	92.0	0.0
Mar	73.2	84.1	160.0	0.0	73.2	10.9	0.0
Abr	100.2	88.3	148.5	-11.5	99.8	0.0	0.4
Mai	141.5	57.3	87.8	-60.8	118.1	0.0	23.4
Jun	167.7	39.4	39.4	-48.4	87.8	0.0	79.9
Jul	199.3	14.8	12.4	-26.9	41.7	0.0	157.6
Ago	177.7	3.6	4.2	-8.2	11.8	0.0	165.9
Set	121.6	47.0	2.6	-1.6	48.6	0.0	73.0
Out	75.3	107.5	34.8	32.2	75.3	0.0	0.0
Nov	33.6	125.2	126.4	91.6	33.6	0.0	0.0
Ano	1172.4	929.8	U=160 mm		672.2	257.6	500.2

Apêndice B

Observações micrometeorológicas

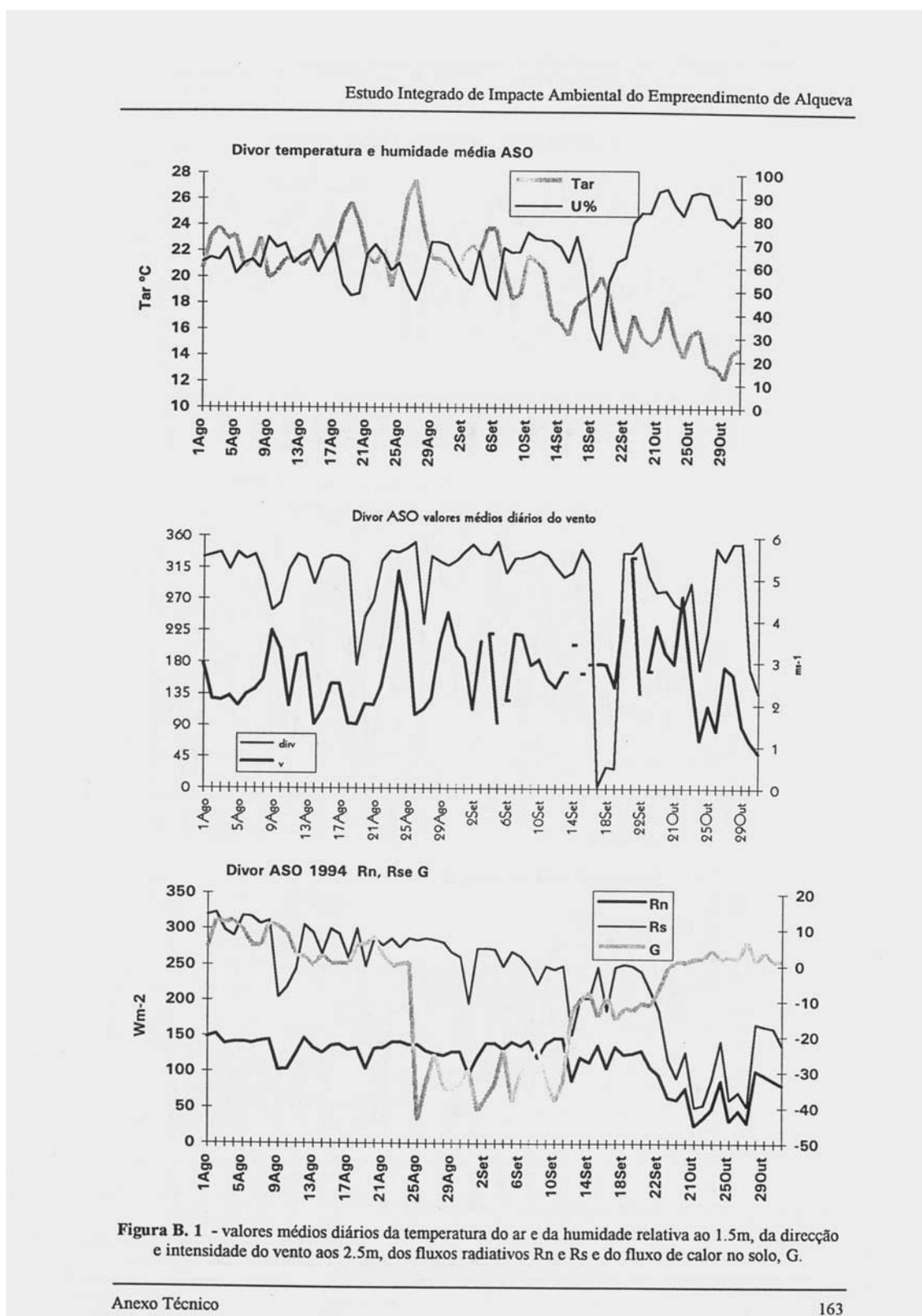


Figura B. 1 - valores médios diários da temperatura do ar e da humidade relativa ao 1.5m, da direcção e intensidade do vento aos 2.5m, dos fluxos radiativos Rn e Rs e do fluxo de calor no solo, G.

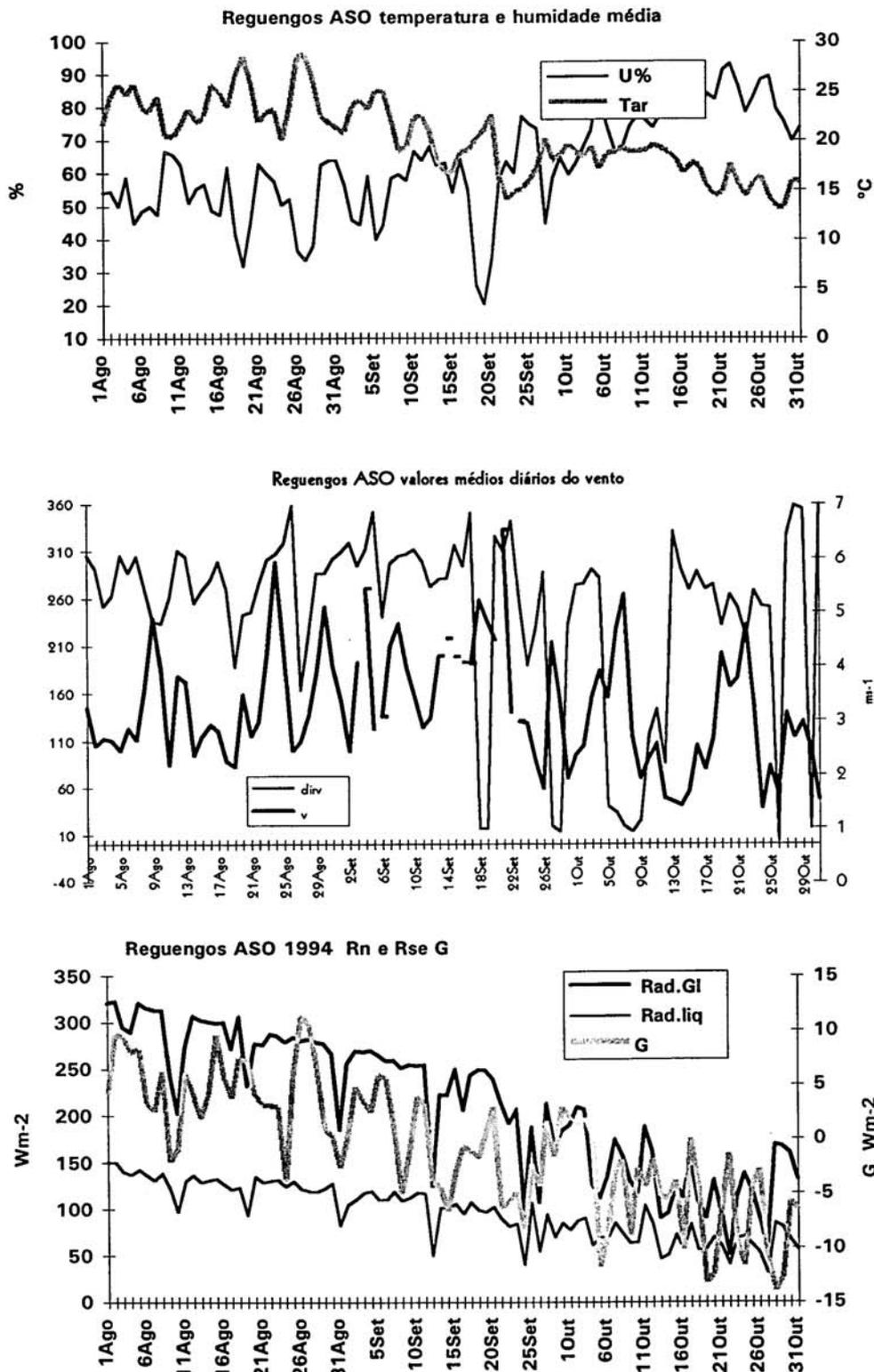


Figura B. 2 - valores médios diários da temperatura do ar e da humidade relativa ao 1.5m, da direcção e intensidade do vento aos 2.5m, dos fluxos radiativos Rn e Rs e do fluxo de calor no solo, G.

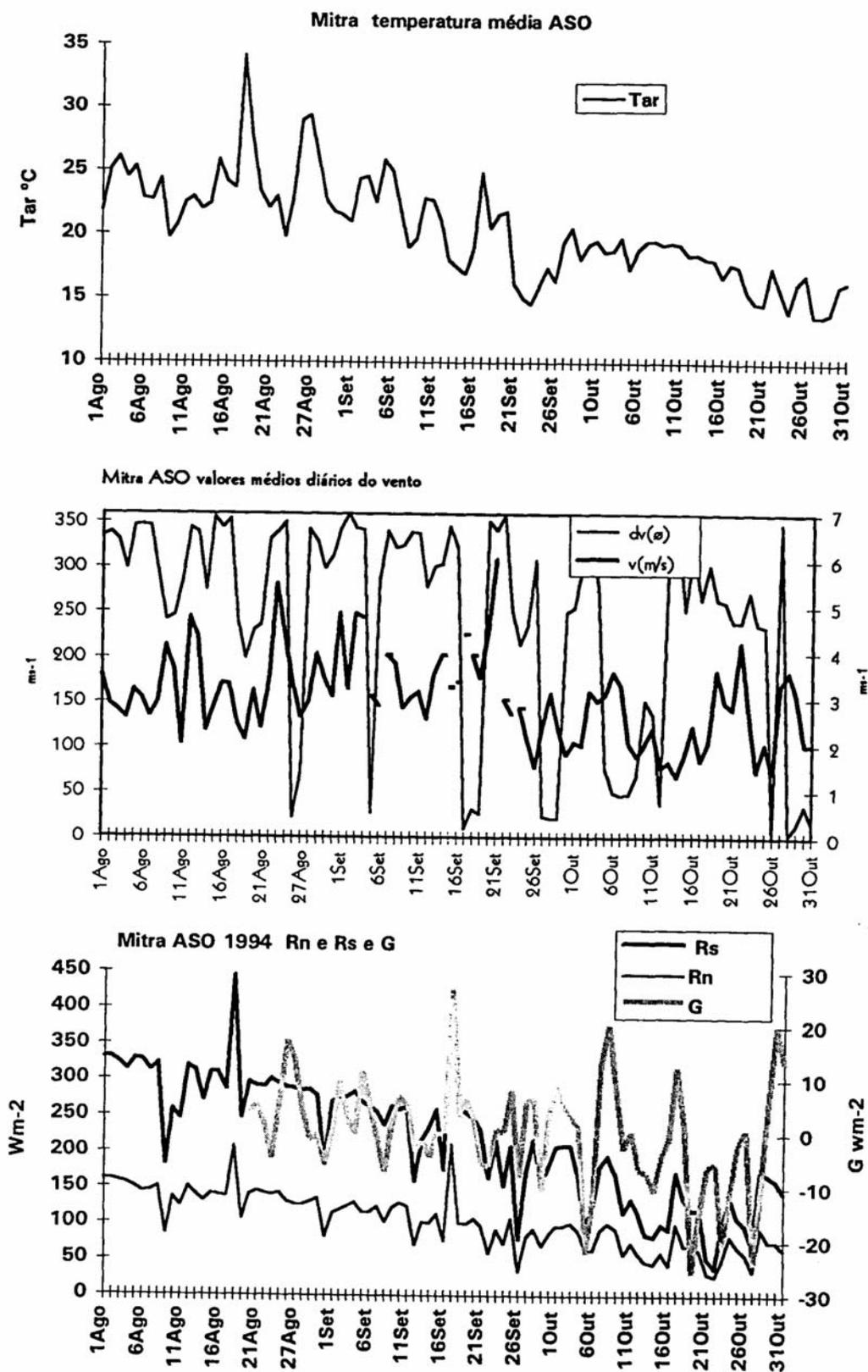


Figura B. 3 - valores médios diários da temperatura do ar e da humidade relativa ao 1.5m, da direcção e intensidade do vento aos 6m, dos fluxos radiativos Rn e Rs e do fluxo de calor no solo, G.

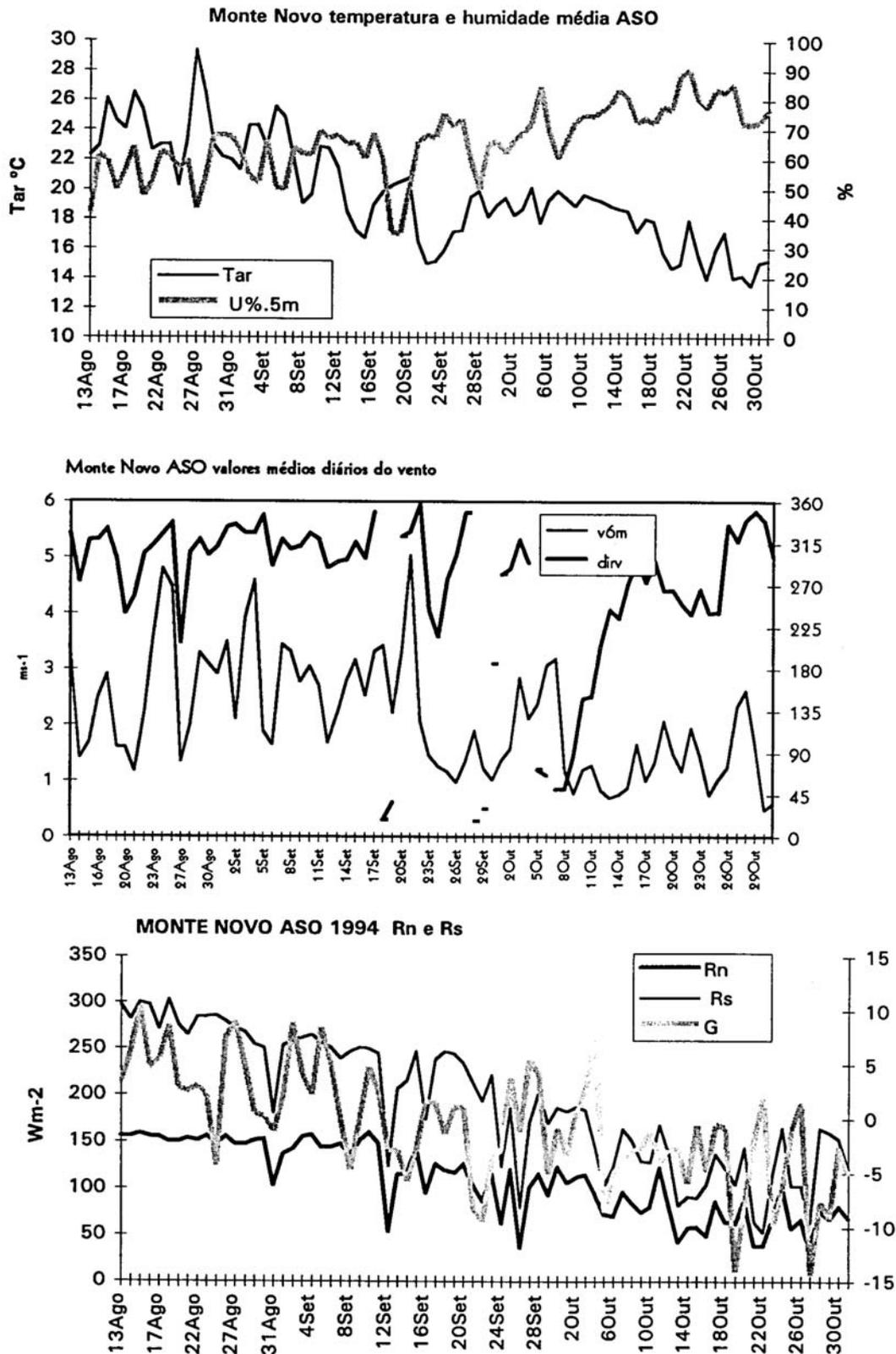


Figura B. 4 - valores médios diários da temperatura do ar e da humidade relativa ao 1.5m, da direcção e intensidade do vento aos 6m, dos fluxos radiativos Rn e Rs e do fluxo de calor no solo, G.

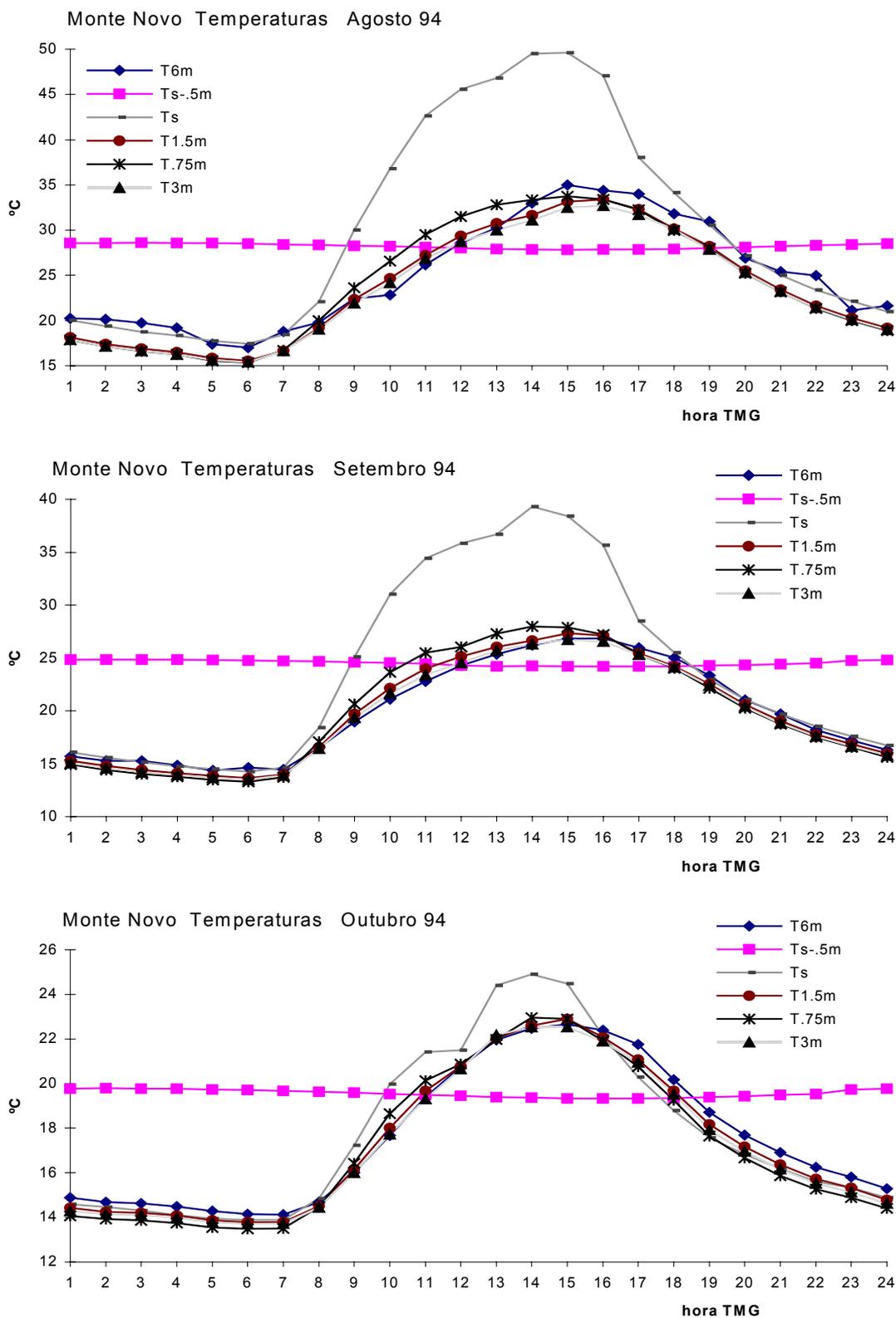


Figura B. 5 - Temperatura médias mensais, por hora, medidas na estação do Monte Novo, a vários níveis no ar e no solo

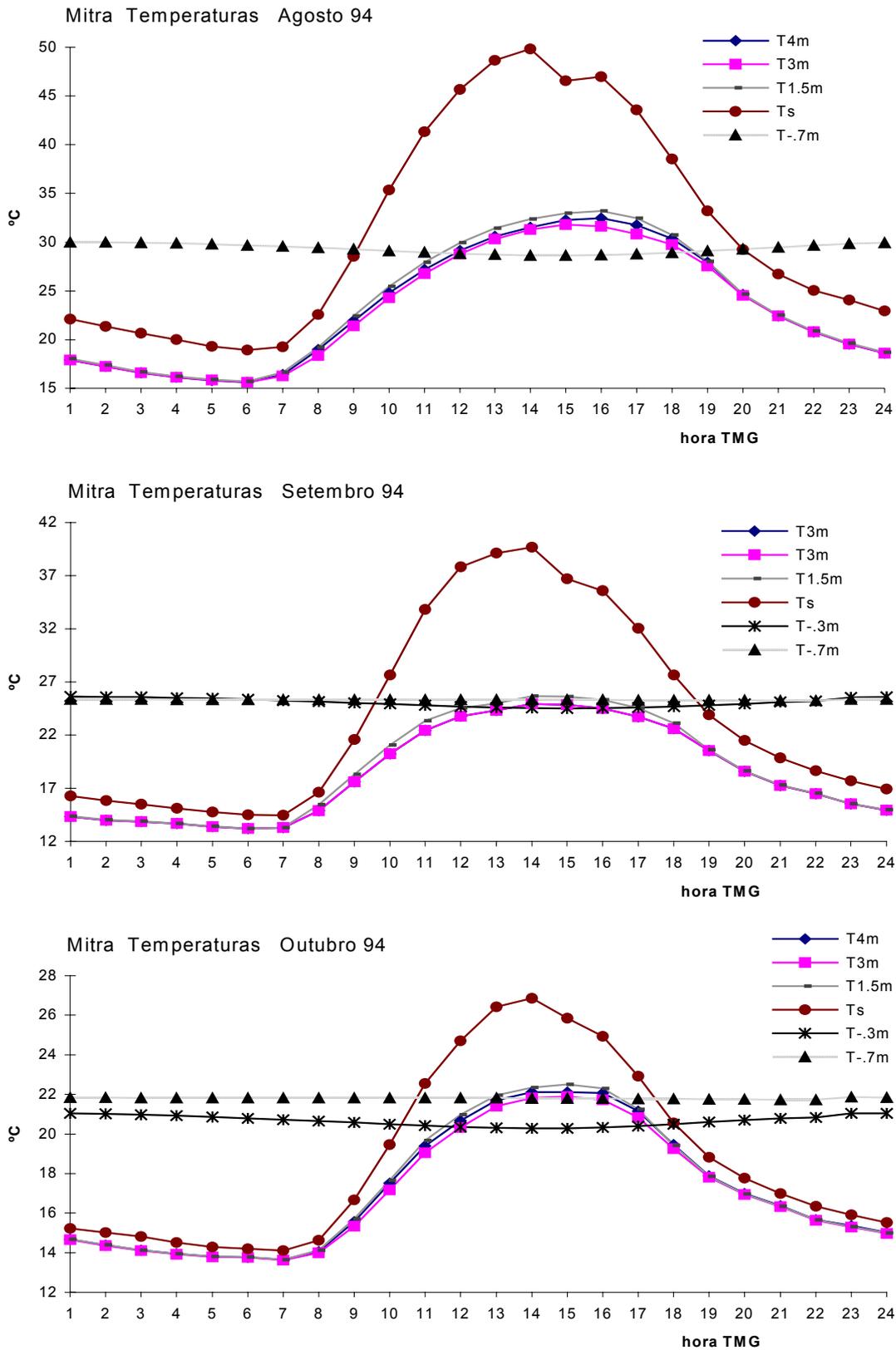


Figura B. 6 - Temperatura médias mensais, por hora, medidas na estação do Mitra, a vários níveis no ar e no solo

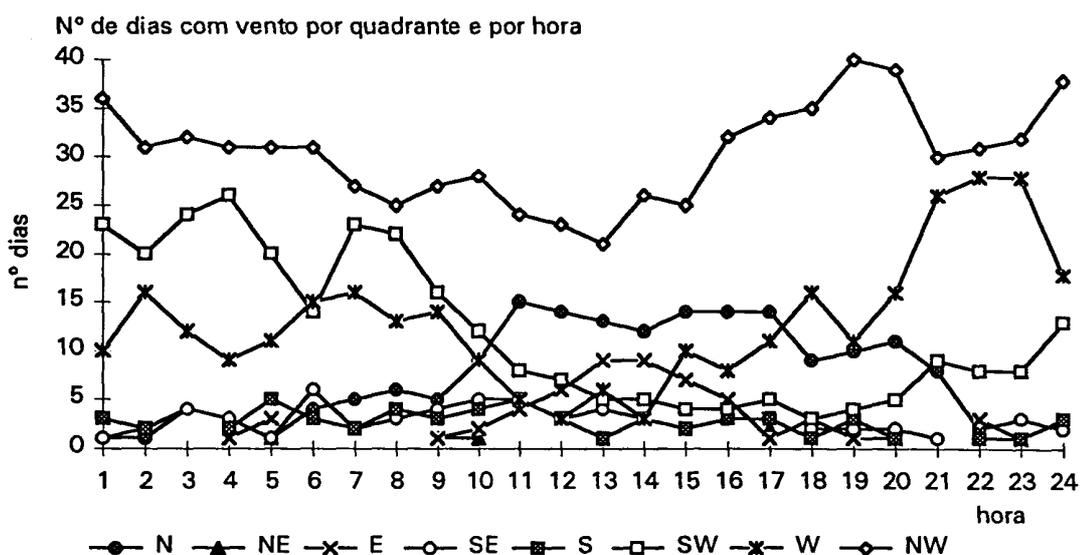


Figura B. 7a - Número de dias de ocorrência de cada rumo de vento, por hora, para o período de Agosto, Setembro e Outubro (81 dias no total)

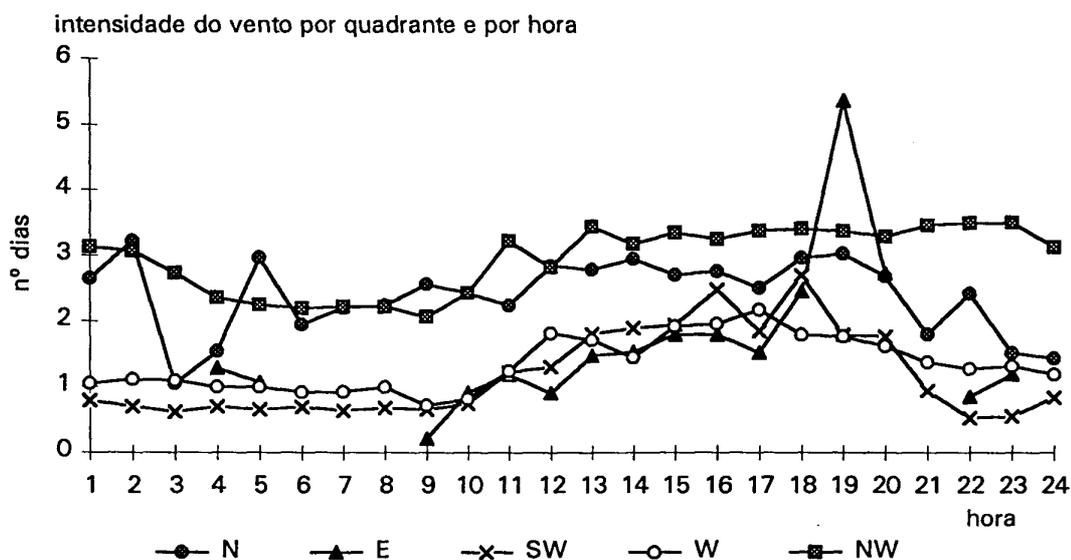


Figura B. 7b - Média da intensidade do vento, por hora e por rumo de vento, para o período de Agosto, Setembro e Outubro

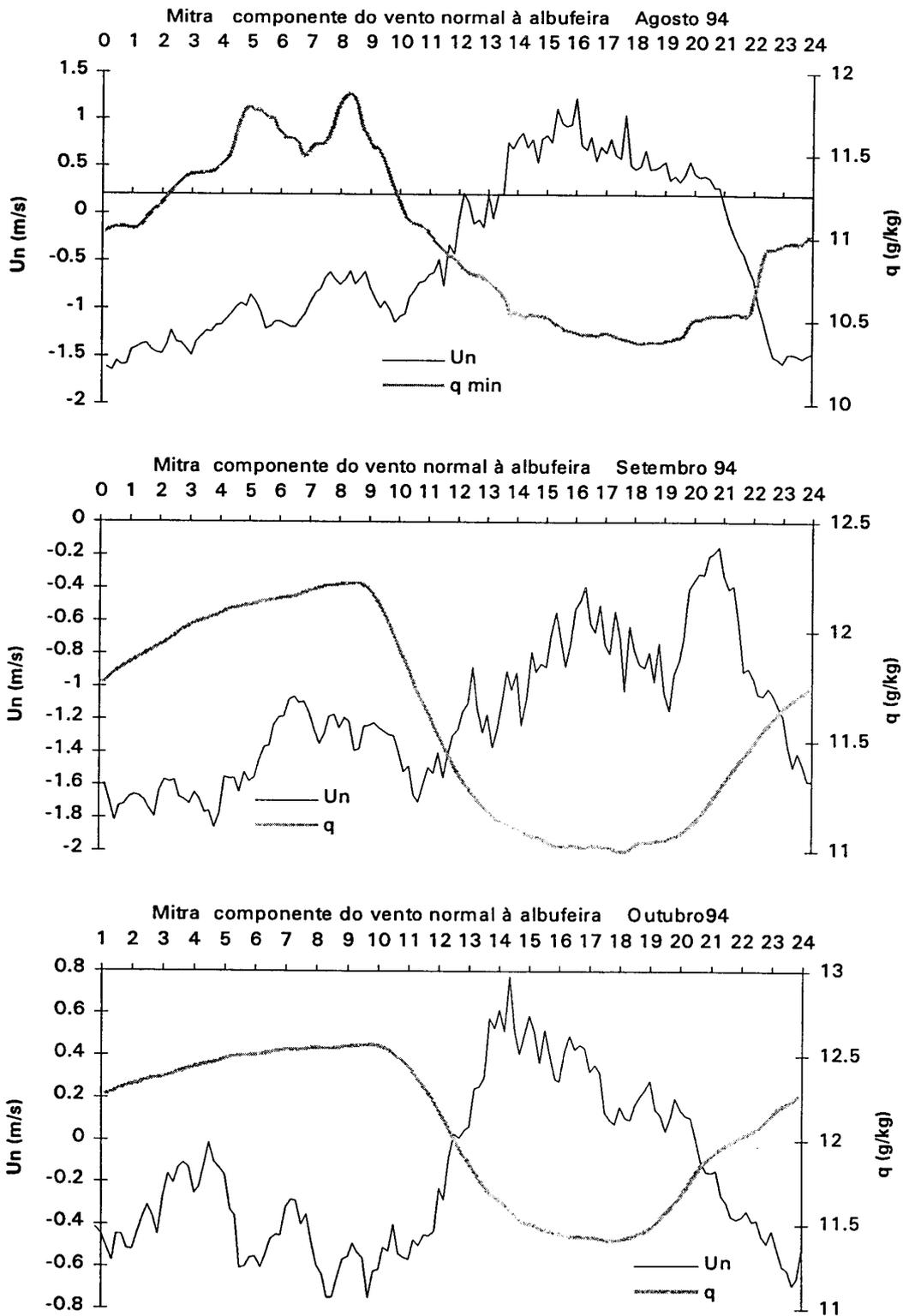


Figura B. 8 - Médias mensais, por hora, da componente do vento normal à albufeira do Monte novo (40° N) e da humidade específica do ar a 1,5m

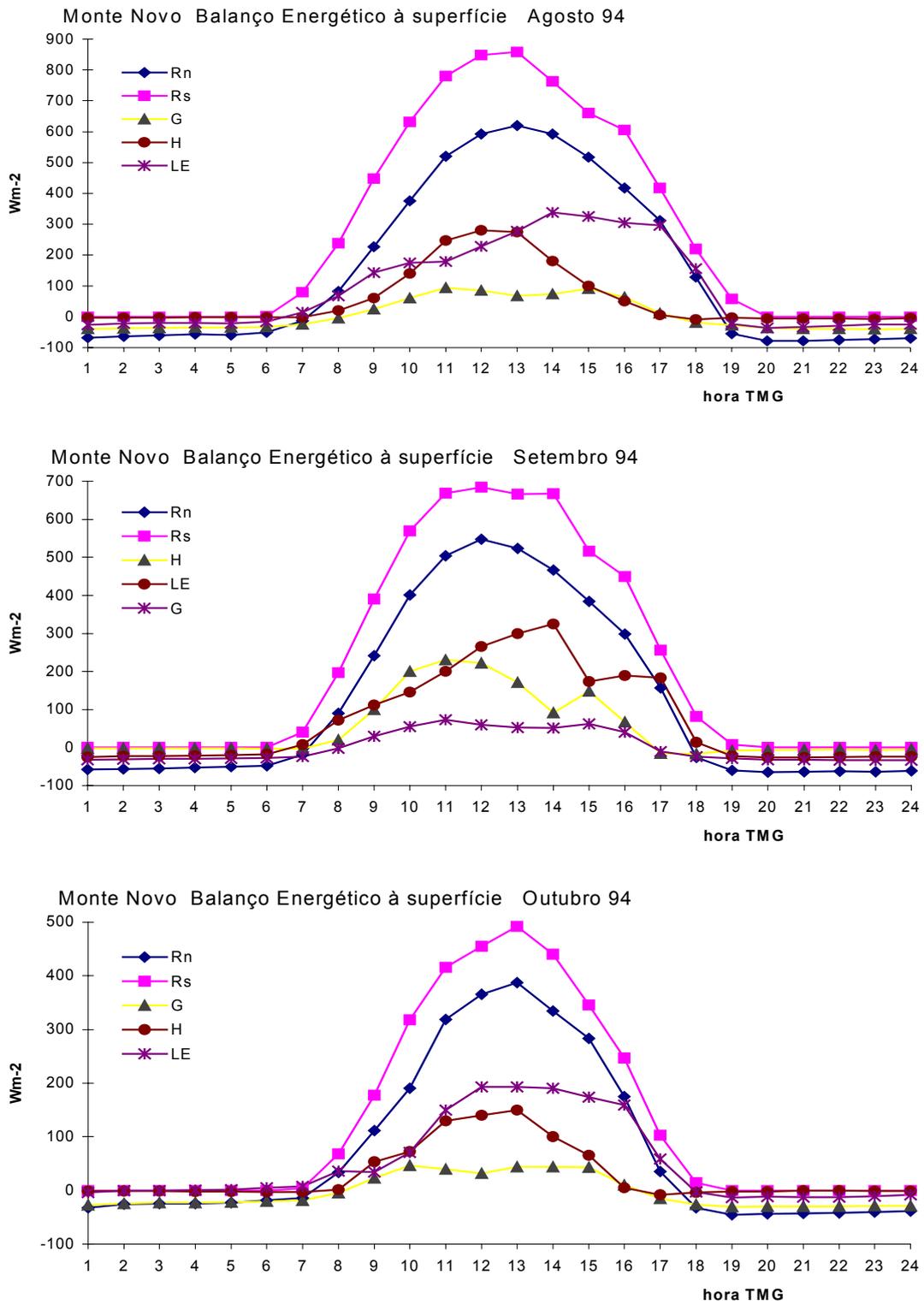


Figura B. 9 - Médias mensais, por hora, dos fluxos energéticos à superfície, na estação do Monte Novo

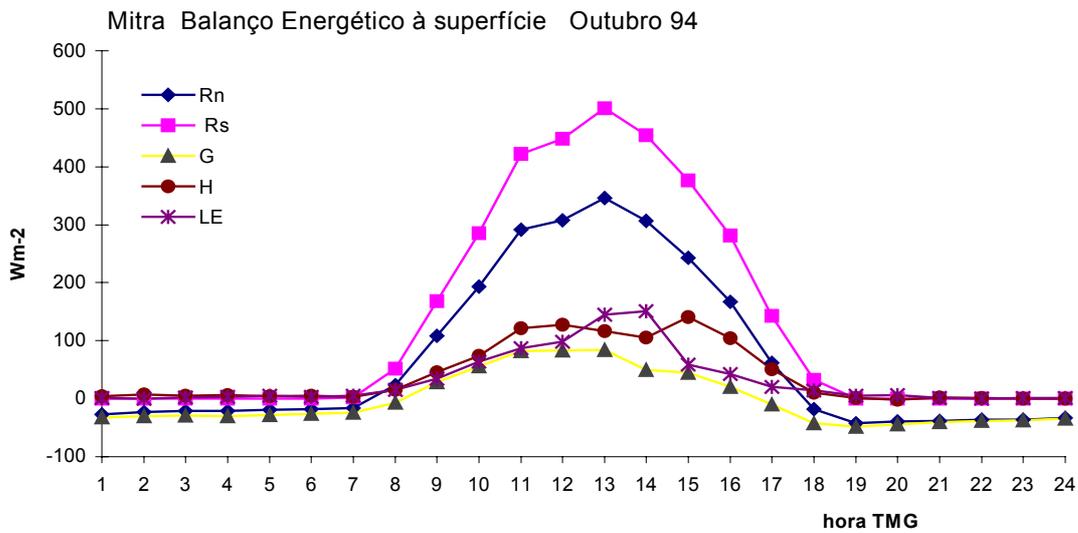
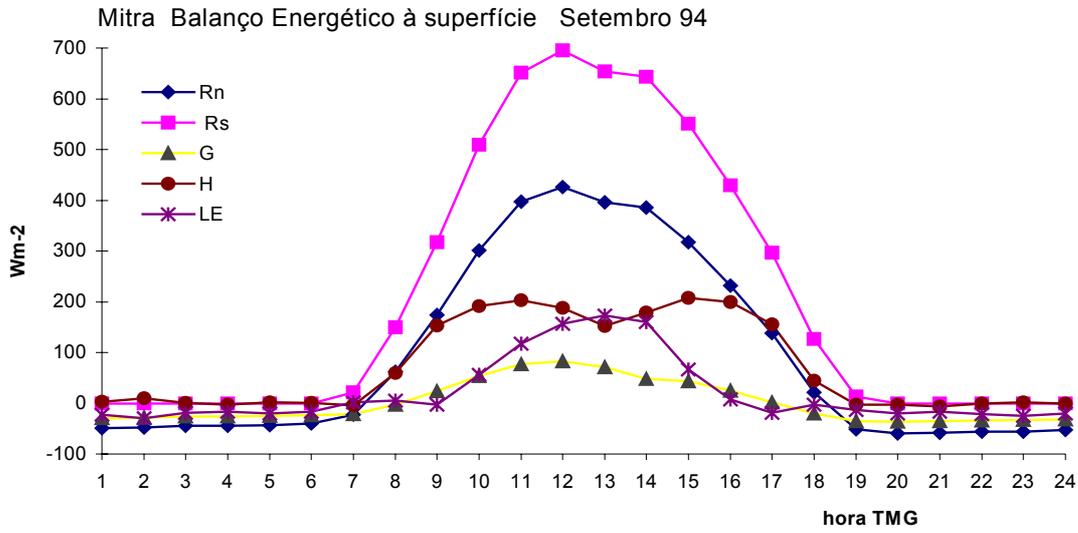


Figura B.9b - Médias mensais, por hora, dos fluxos energéticos à superfície, na estação da Mitra. Rn - Radiação resultante, Rs - Radiação solar incidente, G - Fluxo de calor no solo a cerca de 2 mm de profundidade, H - Fluxo de entalpia, Le - Fluxo de calor latente.

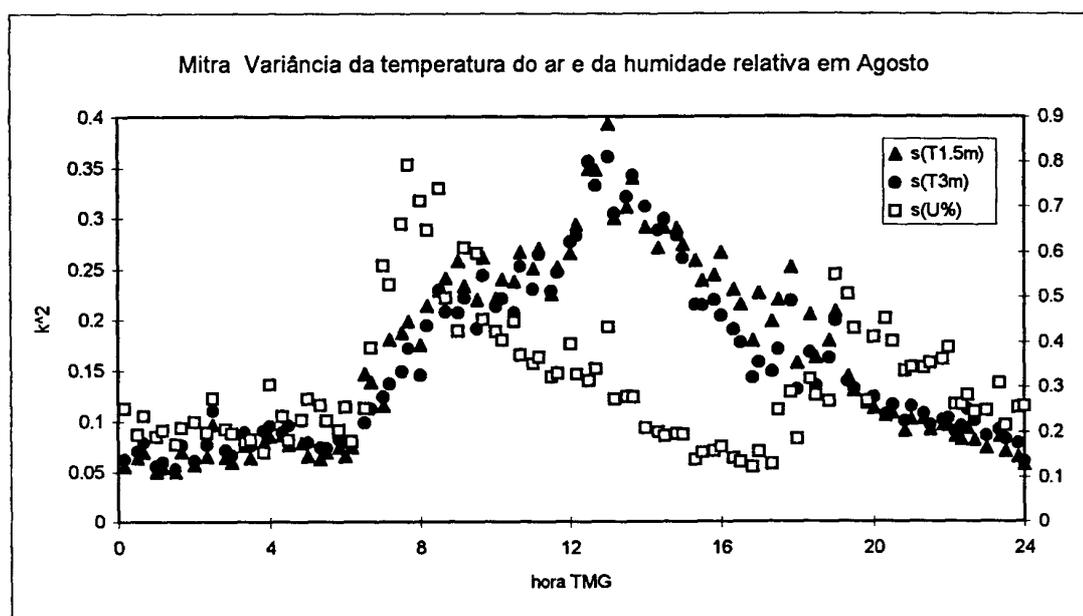
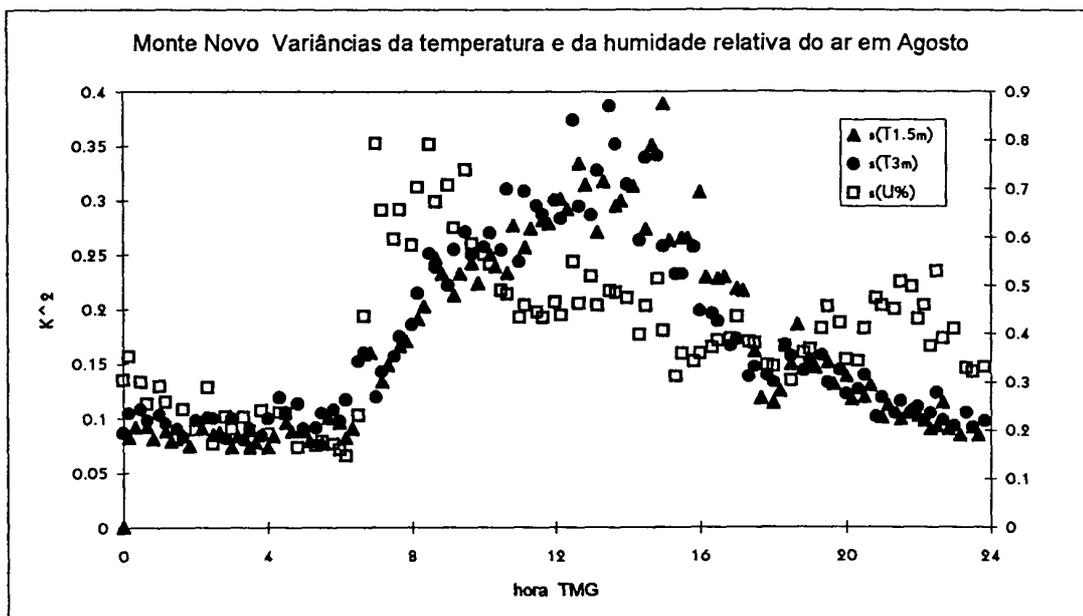


Figura B.10 - Ciclo diurno médio das variâncias da temperatura e da humidade relativa do ar observado na estação do Monte Novo e na Estação da Mitra, em Agosto de 1994. A variância da humidade relativa pode estar referida ao eixo direito, enquanto as variâncias da temperatura podem ser lidas no eixo esquerdo. As variâncias foram calculadas de 10 em 10 minutos a partir dos valores medidos de 2 em 2 segundos.

Apêndice C

Resultados de simulações numéricas

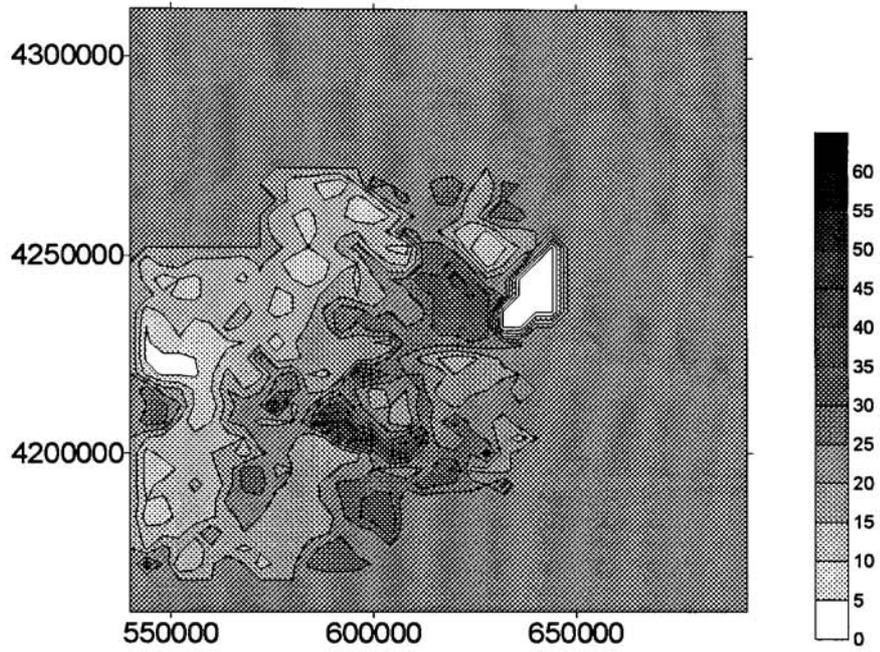


Figura C.1 - Percentagem de argila no solo.

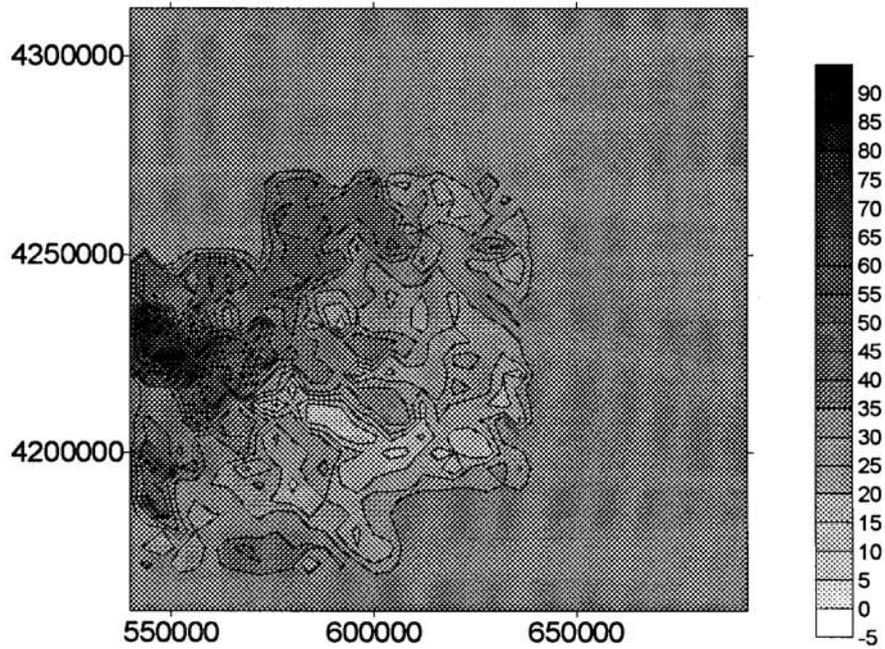


Figura C.2 - Percentagem de areia no solo.

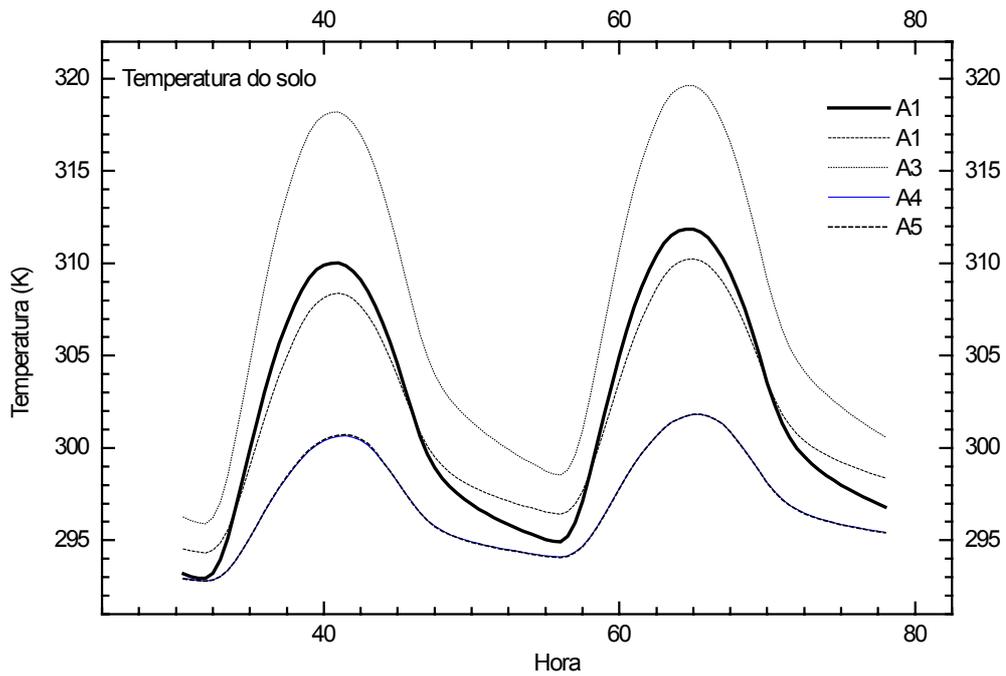


Figura C.3 - Evolução da temperatura do solo nas experiências A1-A5.

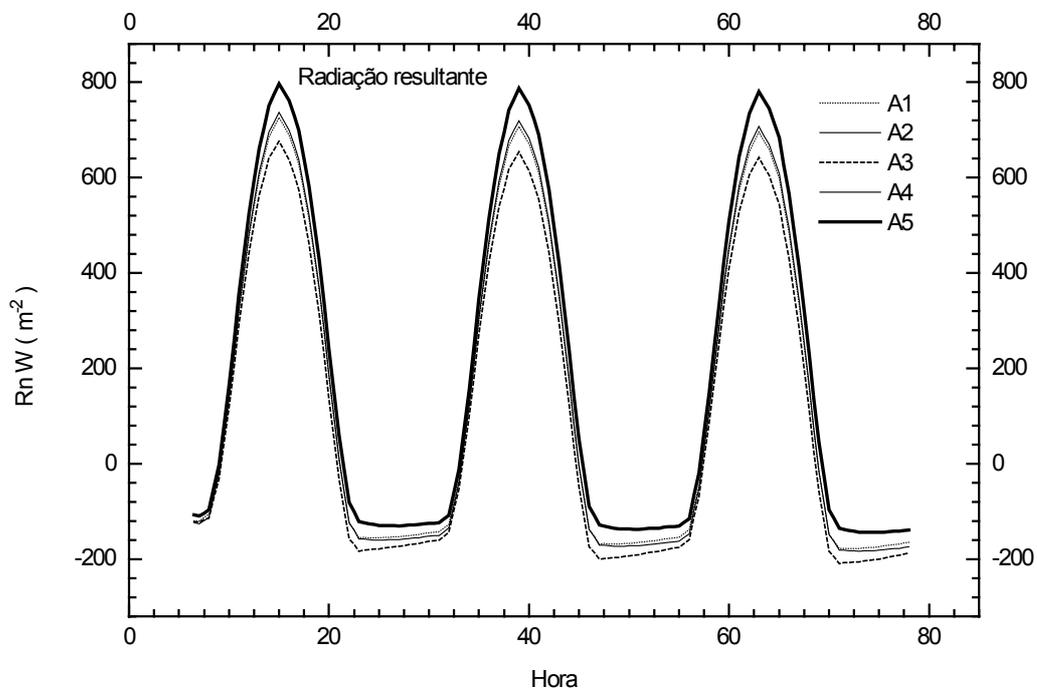


Figura C.4 - Evolução temporal dos fluxos de radiação resultante. Exp A1-A5.

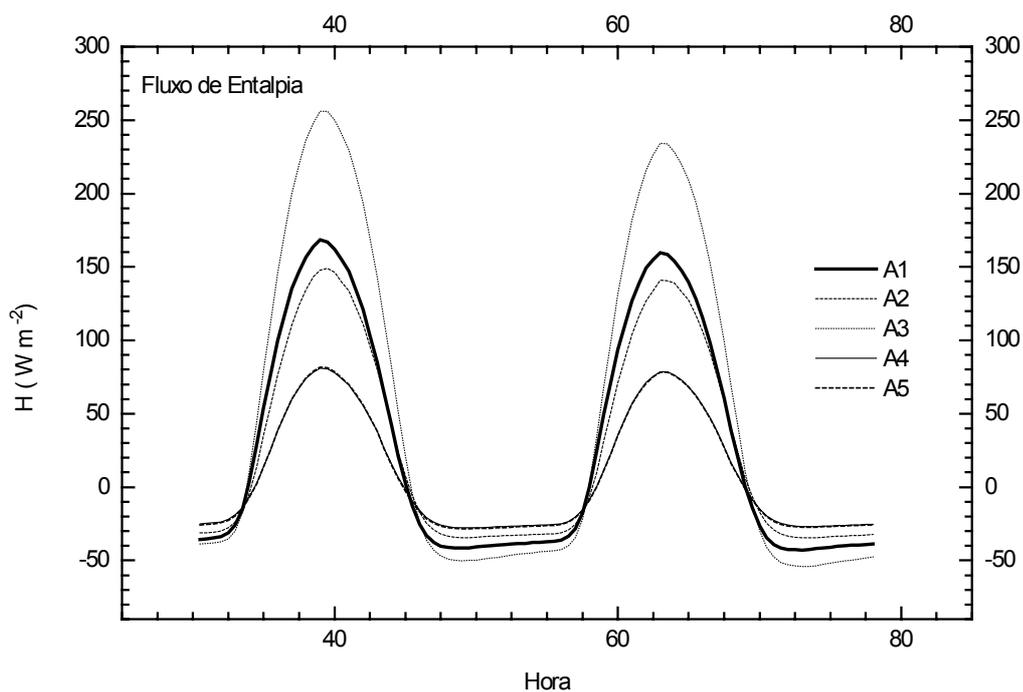


Figura C.5 - Evolução temporal dos fluxos de Entalpia. Exp A1-A5.

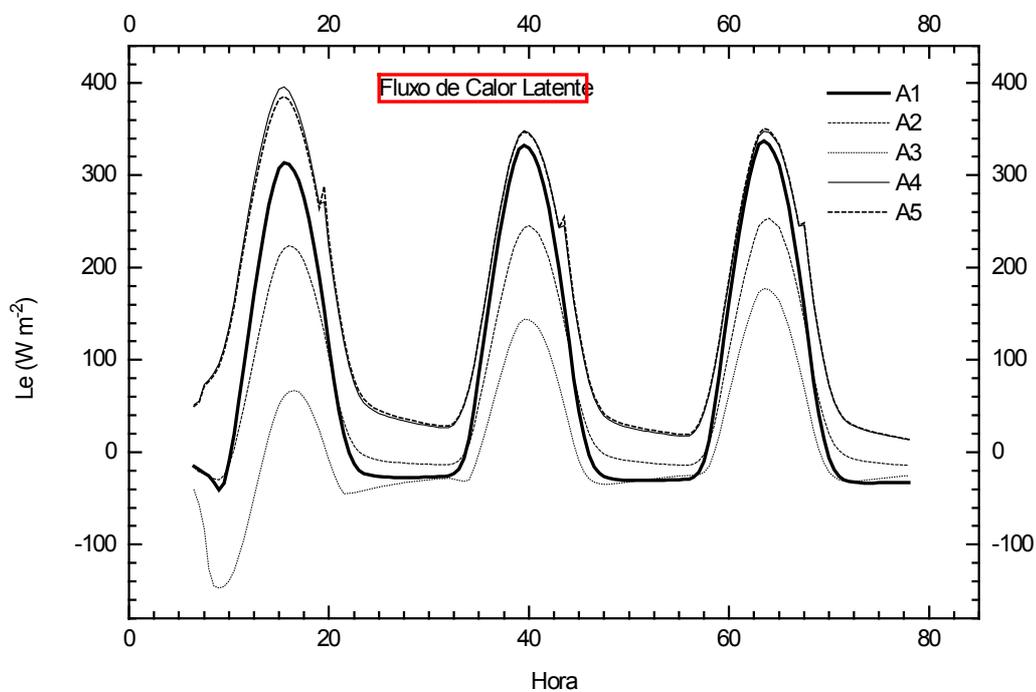


Figura C.6 - Evolução temporal dos fluxos de Calor Latente. Exp A1-A5.

Apêndice D

Formulação dos modelos

D.1 Modelo Atmosférico

(Miranda & James 1992)

São as seguintes as equações de prognóstico do modelo atmosférico:

a) Equações de balanço do momento:

$$\frac{\partial u p_*}{\partial t} + \frac{\partial u^2 p_*}{\partial x} + \frac{\partial v u p_*}{\partial \sigma} = -p_* \frac{\partial \phi}{\partial x} + \sigma \frac{\partial p_*}{\partial x} \frac{\partial \phi'}{\partial \sigma} + f v p_* + p_* (D_u + R_u)$$

$$\frac{\partial v p_*}{\partial t} + \frac{\partial v u p_*}{\partial x} + \frac{\partial v^2 p_*}{\partial y} + \frac{\partial \sigma v p_*}{\partial \sigma} = -p_* \frac{\partial \phi'}{\partial y} + \sigma \frac{\partial p_*}{\partial y} \frac{\partial \phi'}{\partial \sigma} - f u p_* + p_* (D_v + R_v)$$

$$\frac{\partial \tilde{w} p_*}{\partial t} + \frac{\partial u \tilde{w} p_*}{\partial x} + \frac{\partial v \tilde{w} p_*}{\partial y} + \frac{\partial \dot{\sigma} \tilde{w} p_*}{\partial \sigma} = -S w p_* \frac{\partial \phi'}{\partial \sigma} + p_* g \frac{\theta'}{\theta_s} + p_* (D_w + R_w)$$

b) Equação Termodinâmica:

$$\frac{\partial \theta' p_*}{\partial t} + \frac{\partial u \theta' p_*}{\partial x} + \frac{\partial v \theta' p_*}{\partial y} + \frac{\partial \dot{\sigma} \theta' p_*}{\partial \sigma} = -S \tilde{w} p_* \frac{\partial \theta_s}{\partial \sigma} + p_* (D_\theta + R_\theta)$$

c) Equação da continuidade:

$$\frac{\partial p_*}{\partial t} + \frac{\partial u p_*}{\partial x} + \frac{\partial v p_*}{\partial y} + \frac{\partial \dot{\sigma} p_*}{\partial \sigma} = 0$$

d) Equação de balanço do vapor.

D.2 Formulação do modelo de superfície

(Noilhan e Planton, 1989)

As equações de evolução para as cinco variáveis de prognóstico T_s , T_2 , w_s , w_g e W_r são derivações das equações de balanço de energia e vapor de água (5.1) e (5.2), em que algumas constantes foram recalibradas:

$$\frac{\partial T_s}{\partial t} = C_g^{-1} (R_N + H + LE) + 2\pi\tau^{-1} (T_s - T_2) \quad (1)$$

$$\frac{\partial T_2}{\partial t} = \tau^{-1} (T_s - T_2) \quad (2)$$

$$\frac{\partial w_g}{\partial t} = \frac{C_1}{\rho_w d_2} (P_g - E_g) - \frac{C_2}{\tau} (w_g - w_{geq}) \quad (3)$$

$$\frac{\partial w_2}{\partial t} = \frac{1}{\rho_w d_2} (P_g - E_g - E_{tr}) \quad (4)$$

$$\frac{\partial W_r}{\partial t} = vegP - E_r \quad (5)$$

onde $C_g = (1 - veg)C + vegC_v$, é uma capacidade térmica superficial global, veg a percentagem de vegetação (percentagem da radiação solar que é interceptada pela plantas), τ o tempo de um dia, ρ_w a densidade da água líquida, P a precipitação E_g a evaporação pelo solo nu e E_{tr} a evapotranspiração das plantas,

$$E = \underbrace{\sigma \rho \lambda C_h U_a r'' (q_{sat}(T_s) - q_a)}_{vegetaç \tilde{a}} + \underbrace{(1 - \sigma) \rho \lambda C_h U_a (hq_{sat}(T_s) - q_a)}_{solo} \quad (6)$$

onde h , a humidade relativa do ar à superfície, é parametrizada da seguinte maneira:

$$h = \begin{cases} 0.5 \left(1 - \cos \frac{4w_s}{3w_{sat}} \pi \right) & se \ w_s < 0.75w_{sat} \\ 1 & se \ w_s > 0.75w_{sat} \end{cases} \quad (7)$$

$$e \quad r'' = 1 - (1 - \delta) \frac{r_s}{r_a + r_s}, \quad (8)$$

onde r_a é a resistência aerodinâmica, que é inversamente proporcional ao coeficiente de transferência de calor sensível e à intensidade do vento e que se calcula utilizando a formulação de Louis (1979) que permite resolver explicitamente as equações de Monin - Obukhov para a camada limite superficial. r_s é a resistência dos estomas e é parametrizada a partir de uma resistência mínima, r_{smin} (função do tipo de vegetação e da fase de crescimento em que se encontra), da radiação solar, da disponibilidade em água na vizinhança das raízes, da temperatura, e da humidade relativa da atmosfera.

Os coeficientes hídricos C_1 e C_2 e o valor do conteúdo em água no solo, w_{geq} quando a força de gravidade está em equilíbrio com as forças de capilaridade, calibrados com recurso a um modelo detalhado de solo, são expressos em função da textura do solo e do seu conteúdo em água:

$$C_1 = C_{1sat} \left(\frac{w_{sat}}{w_g} \right)^{b/2+1}$$

$$C_2 = C_{2ref} \left(\frac{w_2}{w_{sat} - w_2 + w_f} \right)$$

$$\left(\frac{w_{geq}}{w_{sat}} \right) = \frac{w_2}{w_{sat}} - a \left(\frac{w_2}{w_{sat}} \right)^p \left(1 - \frac{w_2}{w_{sat}} \right)^{8p}$$

Os valores dos coeficientes a, b, p, w_f , bem como o valor de saturação para w dependem exclusivamente da texturas do solo e são apresentados na tabela C.1

Quadro C.1

Parâmetro primário	parâmetro secundário	cálculo
Tipo textural do solo	w_{sat}	$(-1.08 \times X_{areia} + 494.305) \times 10^{-3}$
	w_{wilt}	$37.1342 \times X_{arg}^{0.5} \times 10^{-3}$
	b	$0.137 \times X_{arg} + 3.501$
	C_{gsat}	$-0.008 \times X_{areia} + 3.96$
	C_{lsat}	$(5.58 \times X_{arg} + 84.88) \times 10^{-3}$
	C_{2ref}	$13.815 \times X_{arg}^{-0.954}$
	a	$0.732242 \times X_{arg}^{-0.539} + 3.501$
	p	$0.134 \times X_{arg} + 3.4$
profundidade do solo	d_2	
tipo de vegetação	veg	
	LAI (leaf area index)	
	r_{smin}	
	z_0	
	Albedo	
	emissividade	