

# 7

## Energia

Ricardo Aguiar (Coordenador)

*Departamento de Energias Renováveis*

*do Instituto Nacional de Engenharia, Tecnologia e Inovação*

Marta Oliveira

*Departamento de Energias Renováveis*

*do Instituto Nacional de Engenharia, Tecnologia e Inovação*

Hélder Gonçalves

*Departamento de Energias Renováveis*

*do Instituto Nacional de Engenharia, Tecnologia e Inovação*

## ÍNDICE

<b>SUMÁRIO EXECUTIVO</b> .....	273
<b>EXECUTIVE SUMMARY</b> .....	274
<b>7. ENERGIA</b> .....	275
<b>7.1 INTRODUÇÃO</b> .....	275
7.1.1 Sumário do SIAM I .....	275
7.1.1.1 Oferta de Energia .....	275
7.1.1.2 Procura de Energia .....	276
7.1.2 Objectivos do SIAM II.....	276
<b>7.2 METODOLOGIA</b> .....	277
7.2.1 Metodologias Usadas no SIAM I (Actualização) .....	277
7.2.1.1 Anos Meteorológicos Representativos .....	277
7.2.1.2 Cenários Socioeconómicos SRES .....	278
7.2.1.3 Aquecimento de Águas Sanitárias .....	279
7.2.1.4 Climatização de Edifícios: Residências .....	279
7.2.1.5 Climatização de Edifícios: Escritórios .....	280
7.2.2 Novas Metodologias .....	281
7.2.2.1 Progresso Tecnológico nos Equipamentos de AVAC .....	281
7.2.2.2 Pré-Aquecimento de Águas Industriais .....	281
7.2.2.3 Aquecimento de Piscinas .....	281
7.2.2.4 Climatização de Edifícios de Hotelaria .....	281
7.2.2.5 Climatização de Veículos Terrestres .....	283
<b>7.3 IMPACTOS</b> .....	285
7.3.1 Região Norte .....	285
7.3.1.1 Aquecimento de Águas .....	285
7.3.1.2 Sistemas Solares Térmicos .....	285
7.3.1.3 Climatização de Residências .....	287
7.3.1.4 Climatização de Edifícios de Serviços .....	287
7.3.1.5 Climatização de Veículos .....	288
7.3.2 Região Centro .....	289
7.3.2.1 Aquecimento de Águas .....	289
7.3.2.2 Sistemas Solares Térmicos .....	289
7.3.2.3 Climatização de Residências .....	289
7.3.2.4 Climatização de Edifícios de Serviços .....	292
7.3.2.5 Climatização de Veículos .....	293
7.3.3 Região Sul .....	293
7.3.3.1 Aquecimento de Águas .....	293
7.3.3.2 Sistemas Solares Térmicos .....	295
7.3.3.3 Climatização de Residências .....	295
7.3.3.4 Climatização de Edifícios de Serviços .....	296
7.3.3.5 Climatização de Veículos .....	297
<b>7.4 LACUNAS DE CONHECIMENTO</b> .....	298
7.4.1 Produção Eléctrica e Controlo de Cheias .....	298
7.4.2 Oferta de Energia por Sistemas Eólicos e Oceânicos.....	298
7.4.3 Transporte e Distribuição de Energia Eléctrica .....	298
7.4.4 Deslocação dos Picos de Consumo de Energia .....	298
7.4.5 Ritmo Temporal do Aquecimento Global .....	298
7.4.6 Adaptação.....	298
<b>7.5 CONCLUSÕES</b> .....	299
<b>7.6 REFERÊNCIAS</b> .....	300

## SUMÁRIO EXECUTIVO

Este capítulo descreve resultados de estudos de impactos das alterações climáticas no sector energético em Portugal. Sendo sempre reconhecido como o mais importante em termos de responsabilidade pelas emissões de gases com efeito de estufa, só mais recentemente se começa a ter consciência da extensão em que ele próprio sofre os impactos das alterações climáticas, tanto do ponto de vista da oferta como, especialmente, da procura de energia.

Do ponto de vista da oferta de energia, os potenciais impactos das alterações climáticas na oferta de energia prendem-se, de forma geral, com a redução da eficiência termodinâmica de motores e turbinas sob temperaturas ambientes mais elevadas; com a disponibilidade de água para arrefecimento em centrais térmicas; com o efeito da subida do nível do mar em estruturas perto da costa; com o efeito de eventos extremos nos sistemas de abastecimento de energia; com a alteração do potencial de recursos energéticos renováveis – energia solar, eólica, oceânica, biomassa; e com maiores perdas (resistivas) no transporte de energia eléctrica. Do ponto de vista da procura de energia, devem considerar-se impactos directos na diminuição dos requisitos energéticos para aquecimento (águas, edifícios, veículos) nos meses mais frios; e no aumento dos requisitos energéticos para arrefecimento nos meses mais quentes. Contudo, podem verificar-se importantes efeitos potenciais de tipo indirecto, em particular ligados às modificações de carácter social nos locais e nos padrões de consumo.

Os resultados obtidos na fase II do SIAM vieram confirmar, aprofundar e aumentar o conjunto de resultados obtidos na primeira fase (Aguilar, 2002). Do ponto de vista da oferta de energia, não foram encontrados impactos significativos nas centrais termoelectricas, desde que se assegure a disponibilidade de água para arrefecimento em novos empreendimentos. No sector da oferta de energias renováveis, há mesmo indicação de benefícios no que respeita à energia solar (especialmente térmica) e à produção de biogás. Para as outras fontes renováveis as estimativas indicam impactos aproximadamente neutros a nível nacional – embora não a nível regional, isto em particular para a energia hidráulica, onde a região Norte pode sair beneficiada e as regiões Centro e Sul bastante prejudicadas.

Mantém-se a estimativa de impactos importantes nas perdas no transporte e distribuição de energia eléctrica, determinadas pelo aumento da temperatura ambiente, embora sempre com a ressalva da possibilidade, bem real, de que desenvolvimentos tecnológicos que já hoje se perspectivam – por exemplo, produção descentralizada, vectores energéticos alternativos e mesmo cabos supercondutores à temperatura ambiente –, possam minorar este impacto.

Com os novos cenários climáticos, utilizados no presente estudo, a redução das necessidades energéticas para aquecimento de águas (especialmente sanitárias, tipicamente entre 10% a 20%) é ainda o único impacto de carácter positivo encontrado do lado da procura de energia. Confirmou-se também o muito significativo impacto de carácter negativo das alterações climáticas nas necessidades e nos consumos para climatização ambiente. As reduções na procura para aquecimento nos meses mais frios são mais do que compensadas por grandes aumentos para arrefecimento nos meses mais quentes – aliás a estação quente em que se justifica o recurso à climatização alarga-se e passa a abranger 8 a 10 meses na maior parte do território. Uma das consequências deste impacto é a deslocação muito clara do pico de consumo eléctrico do Inverno para o Verão, amplificando ainda mais a pressão sobre o sistema eléctrico resultante do constante aumento de consumos nos últimos anos, e que todos os cenários indicam dever continuar dada a tendência para uma «electrificação» crescente da economia.

Na primeira fase do Projecto SIAM foram analisadas a climatização de habitações – vivendas e apartamentos – e de edifícios de escritórios, com a tecnologia actual. Nesta segunda fase os estudos incluíram também hotéis e veículos, com resultados semelhantes, não obstante terem-se considerando pela primeira vez os efeitos do desenvolvimento da tecnologia. O contexto socioeconómico e a direcção do desenvolvimento e da aplicação da tecnologia provaram ser determinantes na moderação/amplificação dos impactos climáticos. Por exemplo, na região Centro, a variação das estimativas das necessidades de consumo para climatização ambiente, entre dois cenários com características semelhantes nos níveis de população, desenvolvimento e globalização económica, ambos com alto desenvolvimento tecnológico, mas com preocupações ambientais distintas – elevadas (cenário B1) ou diminutas (cenário A1) –, vai de +8 % a +10 % para veículos, +10 % a +50 % para escritórios, +40 % a +90 % para hotéis e +40 % a +660 % para residências.

Tendo em atenção o facto de que no sector energético os desenvolvimentos tecnológicos são frequentes e as atitudes dos consumidores particulares e empresariais são flexíveis, recomenda-se o desenvolvimento, tão rápido quanto possível, das vastas oportunidades para potenciar os impactos positivos (energias renováveis em particular) e para procurar uma eficaz adaptação/redução aos impactos negativos (estes essencialmente na procura de energia).

## EXECUTIVE SUMMARY

This chapter deals with climate change impact estimates in the energy sector of Portugal. This sector is in a peculiar position: while widely recognized as one of the main sources of greenhouse gas emissions, it is seldom appreciated the extent in which it is also a target of the climate change impacts caused by such emissions. They do exist, from all viewpoints: energy supply, transmission and demand.

The main potential impacts from the supply side may relate to: reduction in thermodynamic efficiency of generators and engines in general under higher ambient temperature; cooling water availability for thermoelectric power plants; sea rise impacts on energy related structures located near the coast; effects of extreme meteorological events such as severe weather on energy infrastructures; changes in renewable energy resources and higher resistive losses in power transportation cables. From the demand side, impacts may be found on the reduction of energy needs for heating (water, buildings, vehicles) during the colder months and, in contrast, on the increase of energy needs for cooling during the warmer months. There are also many conceivable indirect but potentially important effects, linked for instance, to social changes on energy consumption patterns.

The results obtained for Portugal in the present phase II of the SIAM Project have confirmed and extended the results of the previous first phase (Aguar, 2002). From the supply side viewpoint, no significant impacts were foreseen for thermoelectric power plants, at least assuming water availability is secured for new plants, for example, by locating them near the coast or estuaries, as it is already done in most cases. There are signs that the performance of solar energy devices and biogas production should benefit from climate change in Portugal. For other renewable energy sources the impact estimates were about neutral at national level, although not necessarily at regional level: in particular for hydroelectric plants the northern region might benefit, in contrast with the central and southern zones, which, anyway, already holds much less hydraulic potential. Important impacts on transport and distribution of electricity should be expected, although they could be mitigated or bypassed by technological developments (for instance, decentralized power production, alternative energy vectors, superconductivity at room temperature).

From the demand side, the only positive impact expected relates to lower water heating needs, typically between 10% and 20% less than with the current climate. The results of SIAM I had already shown a rise of energy needs for climatization, and the present work again finds that the overall balance between the reduction of energy needs for the colder months and the increase of energy needs for the warmer months, turns out to be unfavorable. Indeed the heating season almost disappears in large zones of the territory, and the cooling season increases to 8 – 10 months. A consequence of these changes in energy demand patterns would be a clear displacement of the peak demand from wintertime to summertime, adding to the pressure on the power systems already resulting from the constant demand rise in this country in the last few years, a trend that is expected to continue in the future.

In SIAM I the climatization of residences – single family dwellings as well as apartments – and offices had already been analyzed, assuming societal changes but no technology changes. This second phase of SIAM extended such studies to hotels and vehicles, and allowed for technology developments. With this refined approach and under the new climatic scenarios, it is found that the social-economic factors become crucial for the determination of the size of the impacts. Taking for instance the central region, there is a huge variation in the estimates of energy consumption for climatization, when analyzing two scenarios similar in population, economic activity and technological development, but with distinctively different attitudes towards environmental issues – low concern in scenario A1, but a major driving force in scenario B1. The demand increase ranges were only about +8 % to +10 % for the case of vehicles, but +10 % to +50 % for offices, +40 % to +90 % for hotels, and +40 % to +660 % for residences.

Taking into account the well known energy sector characteristics of frequent technological advances and high flexibility of investors and consumers, it is recommended that, as soon as possible, the country should start trying to profit from the vast opportunities to exploit the positive impacts – foreseen for renewable energies in particular – and to take adaptation / mitigation actions regarding the negative impacts, which occur essentially at the energy demand side.

## 7. Energia

Ricardo Aguiar (Coordenador), Marta Oliveira, Hélder Gonçalves

### 7.1 INTRODUÇÃO

O sector da oferta de energia é dos mais importantes e dinâmicos em termos económicos nacionais, empregando menos de 0,5 % da força de trabalho nacional mas sendo responsável por tipicamente 3,5 % a 4 % do PIB anual. A relevância do sector em termos económicos e sociais é ainda maior do que estes números fariam supor, visto que se regista em Portugal um forte acoplamento entre consumo de energia e PIB. De facto, as taxas de crescimento do consumo de energia são da ordem de 5 % a 6 % ao ano, o que está, em geral, 1 % a 3 % acima da variação do PIB. Note-se que, não obstante a recente tendência de aumento do preço do petróleo e gás natural na origem, a taxa de aumento do preço da energia tem sido em regra abaixo da inflação – tipicamente 1 % a 2 % ao ano – e em alguns anos foi mesmo negativa, por exemplo, -5,8 % em 1999. Assim, ao contrário do que acontece em muitos países da União Europeia e da OCDE, a intensidade energética (energia gasta por unidade de produto) da economia nacional, e o consumo de energia *per capita*, têm continuado a crescer. Associando a circunstância de que Portugal tem uma elevada dependência energética do exterior – da ordem de 85 % a 90 % – este é um sector em que a existência de impactos negativos associados a alterações do clima pode reflectir-se de forma grave nas contas externas e na segurança do abastecimento do país.

#### 7.1.1 Sumário do SIAM I

O trabalho realizado no SIAM I iniciou-se com a identificação dos tipos de impactos potencialmente mais relevantes para Portugal, com base em estudos do mesmo tipo efectuados para outras regiões e especialmente no UNEP Handbook (Feenstra *et al.*, 1998). Utilizaram-se nessa ocasião os cenários climáticos futuros produzidos pelos modelos climáticos HadCM2 e HadRM2 (ver Capítulo 2). Apresenta-se de seguida um breve sumário dos resultados obtidos.

##### 7.1.1.1 Oferta de Energia

Não foram encontrados impactos significativos nas centrais termoeléctricas. A diminuição da eficiência termodinâmica foi estimada em apenas -0,1 %, portanto muito menor do que os ganhos de eficiência tecnológicos ainda esperados. Por

outro lado, a adaptação a alterações do nível do mar, para as centrais arrefecidas a água do mar, ou a um menor caudal dos rios Douro e Tejo, no caso das restantes, afigura-se possível e envolvendo custos pouco significativos. Com efeito estas centrais têm ciclos de vida bastante inferiores ao horizonte de 50-100 anos típico das alterações climáticas antropogénicas e, conseqüentemente, as medidas de adaptação podem ser incluídas no planeamento e renovação de centrais sem custos adicionais relevantes. Note-se porém que a maior frequência de situações de seca projectada pelos cenários climáticos futuros poderá causar problemas no arrefecimento das centrais localizadas nos rios Douro e Tejo no curto e médio prazos.

Também no caso da energia eólica as alterações do regime e intensidade de ventos projectadas pelos modelos climáticos não implicam uma alteração significativa da potência eólica captável – isto naturalmente com a resolução temporal e espacial disponíveis. Embora com base em dados apenas de vento, também se pode inferir que o potencial da energia das ondas e correntes não fica significativamente alterado nos cenários examinados.

Finalmente, os cenários climáticos também não indicam impactos negativos significativos no sector da energia relacionados com eventos extremos.

Em termos de impactos positivos, a utilização de certas energias renováveis poderá ser beneficiada. O aumento de disponibilidade de energia durante os meses estivais é modesto mas suficiente para ter um impacto significativo no desempenho dos sistemas solares fotovoltaicos e térmicos. O benefício é especialmente evidente nestes últimos, devido também ao facto de que as necessidades energéticas a atender diminuem. O aumento da temperatura ambiente potencia ainda um melhor desempenho dos sistemas de digestão anaeróbia (pré-tratamento de efluentes e produção de biogás). Finalmente, dado que nas bacias hidrográficas a norte (Douro, Cávado e Lima), os modelos climáticos indicam um aumento dos caudais durante o Inverno, o impacto no potencial hidroeléctrico nestas zonas – aliás de longe as mais importantes em termos nacionais – é também positivo. Todavia esta apreciação depende da medida em que os aproveitamentos hidroeléctricos possam não ser prejudicados pelas exigências de controlo de cheias, função que também cabe a estes sistemas.

Em termos de impactos negativos das alterações climáticas na oferta de energia as estimativas realizadas não se traduzem por resultados preocupantes. Relacionam-se com dois aspectos: a diminuição de potencial hidroeléctrico nos sistemas hidroeléctricos das bacias do Centro e Sul, e o aumento de perdas na transmissão de energia eléctrica.

No primeiro caso, a redução de caudais estimada para as bacias do Tejo e Guadiana implica uma diminuição da produção hidroeléctrica de sistemas tais como as barragens de Castelo do Bode e Alqueva. Esta redução de produção eléctrica não é proporcional à redução de caudais, mas sim amplificada porque os outros usos da água (abastecimento de populações, irrigação agrícola) são crescentes sob alterações climáticas e têm prioridade no despacho da água armazenada. No entanto, embora estas reduções de produção eléctrica possam ser localmente importantes, do ponto de vista nacional global este impacto não terá muita expressão, dado que, conforme foi já referido, a grande maioria da produção hidroeléctrica situa-se nas bacias a norte.

No segundo caso, sucede que o aumento da temperatura ambiente implica maiores perdas resistivas nos cabos de transporte e distribuição de energia eléctrica. Este impacto é incontornável e estimado em 1,5 % de perdas adicionais, portanto muito significativo. Contudo, ao ser perspectivado no horizonte de 50 a 100 anos, haverá que ter em conta as alterações socioeconómicas e tecnológicas que podem mitigar o problema, entre as quais se perspectiva o aumento da produção descentralizada, a emergência de vectores energéticos alternativos/complementares à electricidade, como o hidrogénio, e mesmo a transmissão da energia por microondas ou cabos supercondutores à temperatura ambiente.

### 7.1.1.2 Procura de Energia

Aumentos de temperatura da ordem de 3 °C a 4 °C têm reflexos evidentes na diminuição das necessidades energéticas para aquecimento ambiente e de águas domésticas e industriais, e no aumento das necessidades energéticas para arrefecimento ambiente, rega e abastecimento de água. No caso da climatização de edifícios e veículos, tendo presente que são em geral amenos os climas onde a maioria dos portugueses habita, surge uma questão importante: saber se a diminuição do consumo de energia resultante da redução das necessidades de aquecimento compensa ou não o aumento de consumo resultante de maiores necessidades de arrefecimento.

No SIAM I experimentou-se uma abordagem econométrica de relacionamento entre estatísticas históricas globais de consumo de energia e um índice de clima, aos níveis anual

e sazonal, que deveriam elucidar o acoplamento entre consumo de energia e clima no caso nacional. Contudo esta metodologia teve um sucesso reduzido.

Numa abordagem alternativa e melhor sucedida foi analisada com bastante profundidade a climatização de habitações (vivendas e apartamentos) e de edifícios de serviços (escritórios) usando uma simulação numérica detalhada do comportamento térmico para Portugal Continental. Os resultados indicaram uma forte redução da estação de aquecimento, quase desaparecendo no Sul, e um grande aumento da estação de arrefecimento. Quanto ao impacto global nas necessidades anuais de climatização, verificou-se que estas aumentariam, com eventual excepção de uma pequena zona a noroeste do território continental. Em termos percentuais, relativamente aos valores típicos correntes, a estimativa obtida para o crescimento destas necessidades energéticas foi de 69 % a norte, 100 % no centro e 29 % a sul, para residências; e cerca de 62 % a norte, 75 % no centro e 47 % a sul, para escritórios.

É pertinente realçar que estes resultados contrariam os que se obtêm para climas mais frios como os dos países do Centro e Norte da Europa, em que o impacto sobre as necessidades de climatização anuais vai antes no sentido da sua redução.

Os resultados citados foram obtidos considerando apenas alterações do clima. Contudo, quando se incluem também os diversos cenários socioeconómicos com implicações, nomeadamente, nas características térmicas das construções, nos equipamentos presentes e no comportamento dos utilizadores dos edifícios, estes números são ainda amplificados em mais 90 % a 140 %. Este é um resultado especialmente preocupante, pois sugere que as alterações dos regulamentos de construção que hoje em dia consideramos desejáveis – mais isolamento, orientação preferencial a sul, entre outros – sejam impotentes para reduzir o consumo energético dos edifícios, sob o clima projectado pelos cenários climáticos futuros. De facto, até é possível que tais medidas possam ser contraproducentes no longo prazo, ao promover a recolha de demasiada radiação solar, durante uma estação de arrefecimento bem mais longa que a actual, e dificultem as estratégias de arrefecimento passivo nocturno.

### 7.1.2 Objectivos do SIAM II

O programa de trabalhos para a avaliação de impactos e estudo de medidas de adaptação no sector energético incluiu basicamente: um refrescamento dos cenários socioeconómicos e tecnológicos do SIAM I; a reavaliação dos impactos estimados no SIAM I com cenários climáticos obtidos com a nova versão do modelo climático HadCM3

(ver Capítulo 2); e a extensão dos estudos de impacto sobre a procura de energia às infra-estruturas e actividades relacionadas com o turismo e o lazer.

No SIAM II manteve-se essencialmente a mesma abordagem e metodologias usadas no SIAM I, embora usadas agora no contexto de cenários socioeconómicos e climáticos algo diferentes. A novidade mais relevante consiste na adição de temas anteriormente não abordados, nomeadamente a procura de energia para climatização em hotéis; o uso de ar condicionado em veículos; a procura de energia para aquecimento de piscinas (cobertas e exteriores); e a procura de energia para pré-aquecimento de águas industriais. Nestes dois últimos casos estimaram-se também as alterações de desempenho de sistemas solares associados a estes sistemas, já que se tornam cada vez mais interessantes para estas aplicações.

Nem todos os assuntos cobertos no SIAM I foram reexaminados em profundidade, devido a limitações nos recursos humanos e financeiros que foi possível assegurar para esta vertente do Projecto. Assim foram revistos de forma menos aprofundada os casos em que a análise do SIAM I mostrou que se tratava de impactos de pouca relevância ou cujas estimativas não se alteravam significativamente com os novos dados climáticos. São estes em particular os casos da oferta de energia em centrais termoeléctricas; oferta de energia em sistemas fotovoltaicos; digestão anaeróbia; transporte de electricidade e, ainda, os estudos econométricos de registos de clima e de consumo de energia a nível nacional. Por razões operacionais do progresso dos trabalhos, também não foi possível reapreciar a oferta de energia hidroeléctrica à luz de novos dados hidrológicos.

## 7.2 METODOLOGIA

No caso de sistemas solares térmicos e fotovoltaicos, de piscinas, pré-aquecimento de águas industriais e das necessidades de energia para climatização em edifícios, a análise processou-se por simulação numérica detalhada dos sistemas em causa, usando o *software* especializado SolTerm (INETI) e ESP (Universidade de Strathclyde). Foi necessário definir sistemas representativos de cada caso recorrendo a dados estatísticos, resultados de inquéritos, e ao saber-fazer e experiência existente no INETI relativo a casos de pré-projecto, monitorização e acompanhamento de instalações específicas e a estudos para regulamentação de sistemas solares e edifícios. As simulações foram feitas para «anos meteorológicos representativos», séries anuais de valores horários de radiação solar e temperatura com características estatísticas – em particular médias mensais de longo prazo – muito próximas das correspondentes aos períodos de controlo e futuro dos

cenários climáticos usados. Para os restantes temas a análise foi também baseada no saber-fazer e experiência existente no INETI e acompanhada e revista por peritos especializados.

Dois aspectos importantes foram a geração de «anos meteorológicos representativos», utilizando os *softwares* P-CLIMA e CLIMED do INETI e a adaptação dos cenários socioeconómicos SRES às condições portuguesas. Este último trabalho beneficiou dos resultados obtidos no Projecto MISP (Aguiar, 2003) que progredia aproximadamente ao mesmo tempo que o SIAM II.

Para o estudo de caso específico da bacia do Sado, tratado no Capítulo 10, também o SIAM II obteve a colaboração do Projecto MISP no desenho e adaptação dos cenários àquela região para os diversos sectores socioeconómicos.

Os estudos de impacto executados nesta segunda fase do SIAM recorreram sobretudo aos dados do modelo HadCM3, e portanto há apenas que considerar três divisões geográficas: «Norte», «Centro» e «Sul», *grasso modo* delimitadas pelas latitudes 40 °N e 38,5 °N (ver Capítulo 2). Realça-se que no referente à procura de energia é a faixa litoral a que tem de longe mais interesse, sobretudo quando se consideram os cenários socioeconómicos de distribuição geográfica da densidade populacional. Consequentemente, escolheram-se para climas representativos os de algumas cidades situadas naquela faixa.

### 7.2.1 Metodologias Usadas no SIAM I (Actualização)

#### 7.2.1.1 Anos Meteorológicos Representativos

A qualidade dos resultados obtidos com modelos numéricos de sistemas depende muito da qualidade dos dados de entrada, tanto meteorológicos como dos que dizem respeito aos próprios sistemas. Assim, só vale a pena usar modelos complexos e sofisticados para as estimativas de impactos, se for possível obter dados de qualidade adequada.

Ora, no caso dos dados meteorológicos em particular, a simulação detalhada do desempenho de edifícios e de sistemas solares só é possível se existirem séries horárias de temperatura e radiação solar em planos inclinados, que não são produzidos pelos modelos do Hadley Centre. Portanto, é necessário recorrer a métodos estatísticos e modelos paramétricos para obter dados adequados, a partir unicamente dos parâmetros realmente disponíveis, nomeadamente valores diários de temperatura e radiação solar no plano horizontal.

Outro problema muito relevante é a existência de viés nos dados dos cenários climáticos. Se o viés climático no período

de referência for demasiado grande, mas os dados dos cenários climáticos forem usados directamente na simulação dos sistemas, estes últimos podem encontrar-se a funcionar num «regime» muito diferente do real. Por exemplo, tomando o condicionamento de ar numa habitação do Norte, e supondo que a temperatura de Inverno no período de referência tem um viés de +10 °C em relação ao clima observado (algo exagerado mas útil para a clarificação do argumento), então teríamos uma habitação que não tinha necessidade de aquecimento, o que claramente não seria realista como referência para os estudos de impacto. Assim é extremamente importante usar dados originais com viés reduzido ou então aplicar um método para remover a maior parte do viés nos dados disponíveis. Acontece que os dados dos modelos HadCM3 e HadRM3 têm efectivamente um viés da temperatura e radiação solar tão considerável que desaconselha o seu uso directo em simulações para o caso específico do sector energético.

Finalmente, há que ter em conta que a simulação numérica detalhada de edifícios (Clarke *et al.*, 1993) e sistemas solares é um processo ainda algo moroso, que se torna muito pouco praticável se as simulações abrangerem, por exemplo, períodos climatológicos padrão de 30 anos.

Todas estas considerações conduzem, no contexto presente, a uma solução que é a de usar «anos meteorológicos representativos», também denominados «típicos» ou de «desenho». O clima de «referência» ou «de base» é caracterizado por meio de séries sintéticas formadas a partir da climatologia observada; o clima futuro é obtido a partir das séries meteorológicas sintéticas de referência, modificadas pela anomalia projectada pelos cenários climáticos, designadamente a variação absoluta (ou por vezes percentual) projectada para as médias climatológicas.

Os modelos estatísticos e estocásticos utilizados usam a média (e algumas vezes a variância) como variável «mestra» da qual dependem todas as outras (por exemplo, a distribuição de probabilidade, autocorrelações e correlações cruzadas entre parâmetros). Portanto está implícita nesta abordagem a hipótese de que este tipo de relações paramétricas não é alterado no clima futuro. Desde que as alterações climáticas a examinar não sejam abruptas, esta parece ser uma hipótese de trabalho aceitável. Em qualquer caso estima-se que a incerteza introduzida é menor do que a relativa a certas estatísticas sectoriais ou aos cenários socioeconómicos, pelo que não se agrava a incerteza global dos resultados.

Existem vários procedimentos para obter «anos meteorológicos representativos», mas o mais usual é concatenar doze séries mensais, uma para cada mês do ano, escolhidas segundo certos critérios de entre todo o conjunto de séries mensais disponível. Os critérios utilizados tentam assegurar

que, para cada mês, a série mensal específica de determinado ano, que é seleccionada, é aquela que apresenta estatísticas mais semelhantes às do clima que se pretende representar (de controlo ou do futuro). Ora, devido à dimensão do viés nos dados originais do cenário climático utilizado, não foi possível usar este procedimento.

Outra abordagem possível consistiria em usar séries de dados observados para a situação de base, aos quais seriam adicionadas as anomalias (absolutas ou relativas) para representar o clima futuro, um processo frequentemente usado em hidrologia. Tão-pouco esta alternativa é possível no caso presente pois não existem disponíveis suficientes séries observadas simultaneamente de temperatura e radiação solar horária, nem no período de registo nem com a gama de locais necessária para caracterizar a natureza e amplitude dos impactos em Portugal Continental.

Assim o procedimento usado recorre a métodos estatísticos e estocásticos baseados em séries auto-regressivas de primeira ordem (Aguiar 1998a, 1998b). Em primeiro lugar são geradas as séries de um índice relacionado com a irradiação solar global diária em plano horizontal e depois as séries de amplitude térmica e temperatura mínima, correlacionadas com as precedentes. Os valores diários são repartidos em valores horários usando modelos dos perfis médios diários adequados para os objectivos do presente estudo. Modelos da irradiação difusa celeste e reflectida do solo são usados para obter as componentes da irradiação solar e finalmente é aplicado um modelo para a irradiação solar em planos inclinados. A humidade relativa e a intensidade do vento são parâmetros de importância secundária, mas as séries correspondentes são também obtidas, embora com modelos menos complexos. Os processos de geração de séries diárias e horárias são iterados até que se obtenham médias mensais muito próximas dos valores climáticos para o período de interesse – climatologia de referência de «P-CLIMA» (Aguiar, 1998b), e variâncias próximas das previstas por modelos paramétricos (Aguiar 1998a). Uma descrição mais pormenorizada destes procedimentos e o exame da sua adequação pode encontrar-se em Aguiar e Oliveira (2002).

### 7.2.1.2 Cenários Socioeconómicos SRES

Os quatro cenários SRES A1FI, A2, B1 e B2 (ver Capítulo 11) implicam condições futuras do sistema energético muito distintas da actual. Os estudos realizados no âmbito do Terceiro Relatório do IPCC (IPCC, 2001) permitem realizar uma aplicação desses cenários ao caso português. A aplicação foi realizada por meio de um modelo integrado de longo prazo do sector energético e das emissões de gases com efeito de estufa em Portugal, construídos no âmbito do Projecto

MISP (Aguiar, 2003). Relativamente a cada um dos temas abordados de seguida serão referidos os cenários utilizados.

### 7.2.1.3 Aquecimento de Águas Sanitárias

Tal como no SIAM I também foram examinados sistemas solares térmicos para aquecimento de águas sanitárias, contudo, no presente estudo, utilizou-se o *software* do INETI SolTerm 4.5 (Aguiar e Carvalho, 2003), desenvolvido no INETI para a Iniciativa Pública «Água Quente Solar para Portugal» (AQSSP) do Programa E4 do Ministério da Economia. Este *software* é bastante mais sofisticado que o usado no estudo precedente pois faz uma simulação com um passo de tempo de 5 minutos e inclui vários detalhes tais como a representação da estratificação no depósito. A configuração usada é a que está discriminada na Tabela 7.1, e embora respeite ao caso das águas domésticas pode ser considerada representativa do universo das águas sanitárias em geral. O critério de dimensionamento do sistema foi o de satisfação plena do consumo em, pelo menos, um dos meses de Verão.

### 7.2.1.4 Climatização de Edifícios: Residências

A metodologia geral e o modelo de edifício utilizados para obter as estimativas de desempenho relativas às habitações são muito semelhantes às que se seguiram no SIAM I. Na Figura 7.1 apresenta-se um esquema da habitação tomada como representativa. Possui duas zonas, uma com um terço da área de pavimento e que corresponde à zona social (essencialmente cozinha e salas de estar e/ou de refeições), e outra zona que corresponde às divisões menos frequentadas durante o dia (quartos, corredores e casas de banho). A habitação está

orientada segundo os pontos cardeais – fachadas mais longas voltadas a Sul e Norte – com janelas em todas as fachadas.

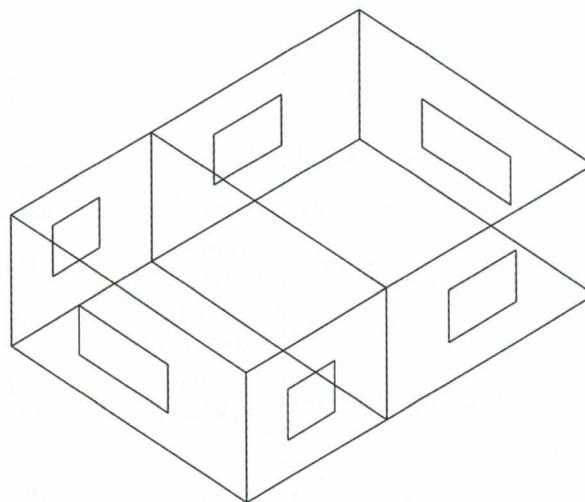


Figura 7.1 – Diagrama das habitações simuladas

São considerados os casos de habitações isoladas (vivendas) e integradas em edifícios de vários pisos (apartamentos). Efetivamente qualquer destes dois tipos é relevante em termos estatísticos. Embora a sua distribuição geográfica seja desigual – mais vivendas que apartamentos, excepto em certas zonas urbanas mais densas, nomeadamente na Área Metropolitana de Lisboa – o seu desempenho térmico é suficientemente distinto para merecer atenção separada. Os resultados das simulações que apresentamos são valores pesados de acordo com as estatísticas de número, tipo e distribuição geográfica das habitações (INE, 1999).

**Tabela 7.1 – Configuração do sistema solar térmico de aquecimento de águas domésticas**

Colector			
Tipo: plano	Azimute: sul	Inclinação: latitude do lugar + 5°	
$F' \eta_0$ : 0,70	$F_R \eta_0$ : 0,67	$F'U$ : 7,0 W/m <sup>2</sup> .°C	$F_R U$ : 6,7 W/m <sup>2</sup> .°C
Permutador			
Tipo: de serpentina	Eficiência: 55%		
Depósito			
Volume: 304 l	Coeficiente de Perdas: 3,07 W/°C		
Consumo			
Temperatura nominal: 45 °C			
Perfil de consumo idêntico em todos os dias, 100 l na 6. <sup>a</sup> e 18. <sup>a</sup> hora solar, 50 l na 13. <sup>a</sup> e 19. <sup>a</sup> hora solar			
Com válvula misturadora para temperar água do depósito			
Entrada de água à temperatura da rede			

**Tabela 7.2 – Características da envolvente, equipamento e operação das habitações simuladas**

	BASE	Cenário A1	Cenário A2	Cenário B1	Cenário B2
Área de pavimento	83 m <sup>2</sup>	115 m <sup>2</sup>	100 m <sup>2</sup>	110 m <sup>2</sup>	100 m <sup>2</sup>
Operação					
Permanência	3 pessoas 18:00-9:00	3 pessoas 19:00-9:00	3 pessoas 18:00-9:00	3 pessoas 18:00-9:00	4 pessoas 17:00-9:00
Banda de conforto térmico	18 – 25,5 °C	20 – 23 °C serão 16 – 27 °C noite	19 – 24 °C	18 – 25 °C	18 – 25 °C
Zonas condicionadas	zona social	toda a casa	toda a casa	zona social	zona social
Condicionamento activo	Norte: 6 h Outras: 4,5 h	14 horas	6 horas	6 horas	5 horas
Iluminação	180 W 18:00-24:00	180 W 19:00-24:00	180 W 18:00-24:00	120 W 18:00-24:00	120 W 17:00-24:00
Outros aparelhos eléctricos	150 W 24 horas	150 W 24 horas	150 W 24 horas	150 W 24 horas	150 W 24 horas
Envelope					
Paredes exteriores	$K_{REF}^1$	40% $K_{REF}$	40% $K_{REF}$	60% $K_{REF}$	60% $K_{REF}$
Vãos envidraçados	vidro simples	vidro simples	vidro simples	vidro duplo	vidro duplo
Infiltração de ar exterior	1 rph <sup>2</sup>	0,8 rph	0,8 rph	0,8 rph	0,8 rph

<sup>1</sup>  $K_{REF}$  = Coeficiente de transmissão térmica de referência para a zona climática pertinente (RCCTE, 1990)

<sup>2</sup> rph = Renovações de ar por hora

As características da envolvente, equipamento e operação das habitações estão especificadas na Tabela 7.2. No caso de apartamentos a simulação corresponde a um piso do edifício, pelo que as zonas do modelo estão em contacto no topo e na base com zonas similares. Os locais simulados são: Porto (Norte), Setúbal (Centro) e Faro (Sul). É importante realçar que neste caso do sector residencial os vários cenários socioeconómicos

apresentam diferenças significativas, algumas das quais são indicadas na Figura 7.2. Estes cenários foram reavaliados e ajustados para esta segunda fase do Projecto SIAM.

### 7.2.1.5 Climatização de Edifícios: Escritórios

A abordagem utilizada para obter as estimativas de desempenho dos edifícios de escritórios foi semelhante à utilizada no SIAM I. Na Figura 7.3 apresenta-se um esquema do piso de escritórios que se escolheu como sendo representativo. É do tipo *open space*, com uma zona central e quatro corredores laterais. O edifício está orientado segundo os pontos cardeais – fachadas mais longas voltadas a Sul e Norte – com janelas em todas as fachadas.

As características da envolvente, equipamento e operação do edifício estão especificadas na Tabela 7.3. A simulação corresponde a um piso do edifício, pelo que as zonas do modelo estão em contacto no topo e na base com zonas similares. Os locais simulados são os de Porto (Norte) e Setúbal (Centro). No caso do sector de serviços, o efeito dos cenários socioeconómicos foi considerado neutro: admite-se que existirá mais equipamento eléctrico, mas que o acréscimo seria compensado pela maior eficiência do equipamento e que os padrões de conforto actuais são já suficientemente elevados.

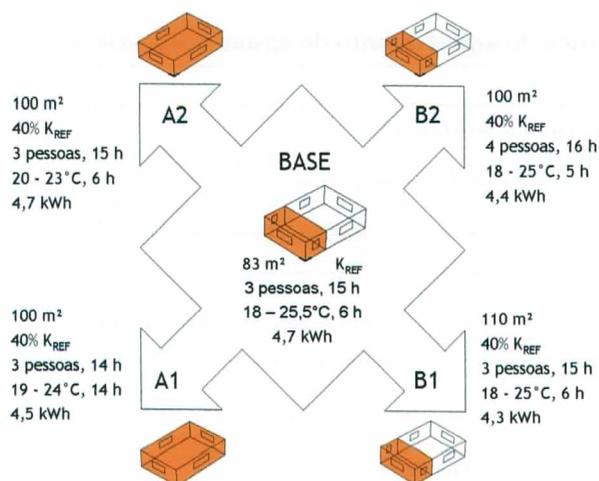


Figura 7.2 – Aspectos mais importantes da cenarização socioeconómica no sector residencial (ver Tabela 7.2).

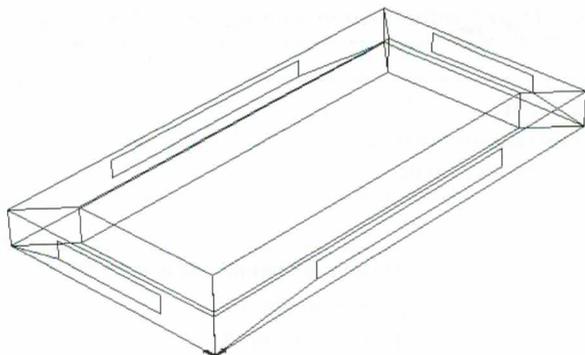


Figura 7.3 – Diagrama do piso de escritórios simulado

**Tabela 7.3 – Características da envolvente, equipamento e operação do piso de escritórios simulado**

Geometria		
Área de pavimento		800 m <sup>2</sup>
Janelas		11 % da área de pavimento; vidro com coloração bronze
Operação		
Permanência		8:00 -18:00 100 % 10 m <sup>2</sup> /pessoa 18:00 - 20:00 30 % 10 m <sup>2</sup> /pessoa
Banda de conforto térmico		20 – 25 °C
Condicionamento activo		7:00 – 20:00
Iluminação		8:00 -18:00 100 % 20 W/m <sup>2</sup> 18:00 - 20:00 30 % 20 W/m <sup>2</sup>
Outros aparelhos eléctricos		8:00 -18:00 100 % 5 W/m <sup>2</sup> 18:00 - 20:00 30 % 5 W/m <sup>2</sup>
Envelope		
Paredes exteriores		K <sub>REF</sub>
Ventilação		0,75 rph (30 m <sup>3</sup> /pessoa/hora)

## 7.2.2 Novas Metodologias

### 7.2.2.1 Progresso Tecnológico nos Equipamentos de AVAC

Já hoje em dia, ao examinar as tecnologias de Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado (AVAC) presentes no mercado e as que estão em desenvolvimento, se pode constatar que há vastas perspectivas de progressos. Este ponto é importante porque a eficiência destes sistemas é utilizada para obter as estimativas dos consumos de energia a partir das estimativas das necessidades de aquecimento e arrefecimento. No SIAMI foram usados valores únicos para os coeficientes de desempe-

nho de equipamentos de condicionamento de ar (COP – *Coefficient of Performance*) em todos os cenários futuros. No presente estudo considerou-se a existência de melhor tecnologia nos cenários A1 e B1 (ver Tabela 7.4) do que nos cenários A2 e B2. O efeito geral desta alteração é o de reduzir as diferenças entre cenários, em especial entre os cenários A1, A2 e B2.

**Tabela 7.4 – Coeficientes de desempenho de equipamentos de condicionamento de ar**

	BASE	Cenário A1	Cenário A2	Cenário B1	Cenário B2
COP para aquecimento	2,0	2,5	2,3	2,5	2,3
COP para arrefecimento	1,4	1,9	1,7	1,9	1,7

### 7.2.2.2 Pré-Aquecimento de Águas Industriais

Nesta segunda fase do Projecto SIAM examinaram-se também as necessidades de aquecimento de águas industriais que representam cerca de 7 % das necessidades de energia na indústria. Considerou-se em especial o pré-aquecimento de águas industriais e o desempenho de sistemas solares térmicos associados. Utilizou-se o *software* SolTerm 4.5 já mencionado. Os elementos do processo e a configuração do sistema solar considerado estão discriminados na Tabela 7.5. Não se considerou a presença de um permutador no sistema solar. O critério de dimensionamento do sistema foi o de optimização do rendimento específico em termos de área (kWh fornecido/m<sup>2</sup> de colector).

### 7.2.2.3 Aquecimento de Piscinas

No SIAM II também se examinaram as necessidades de aquecimento de piscinas, tanto cobertas como exteriores, e ainda o desempenho de sistemas solares térmicos que lhe podem estar associados. Foi utilizado o *software* SolTerm 4.5 já mencionado. As configurações usadas estão discriminadas nas Tabelas 7.6 e 7.7. O critério de dimensionamento do sistema solar associado foi de satisfação plena de necessidades num dos meses do ano, para piscinas cobertas, e em três meses de Verão, para piscinas exteriores.

### 7.2.2.4 Climatização de Edifícios de Hotelaria

Os hotéis são um dos tipos de edifício com consumo específico de energia mais importante no universo dos edifícios de

**Tabela 7.5 – Configuração do sistema solar térmico de pré-aquecimento de águas industriais**

Consumo			
Temperatura nominal: 60 °C	Temperatura máxima: 95 °C		
Tempo de operação diário: 24 horas	Paragens do processo aos sábados e domingos		
Caudal de processo: 0,5 litro/s	Entrada de água à temperatura da rede		
Colector			
Tipo: CPC	Azimute: sul	Alinhamento: EW	Inclinação: latitude do lugar + 5°
Ângulo de aceitação: 56°	Ângulo de truncatura: 76°		Concentração: 1,12
$F \cdot \eta_0$ : 0,70	$F_R \eta_0$ : 0,52	$F \cdot U$ : 8,0 W/m <sup>2</sup> .°C	$F_R U$ : 5,9 W/m <sup>2</sup> .°C

**Tabela 7.6 – Configuração do sistema solar térmico de aquecimento de piscinas**

Colector			
Tipo: plano	Azimute: sul	Inclinação: latitude do lugar - 5°	
$F \cdot \eta_0$ : 0,70	$F_R \eta_0$ : 0,67	$F \cdot U$ : 8,0 W/m <sup>2</sup> .°C	$F_R U$ : 7,6 W/m <sup>2</sup> .°C
Sem permutador, entrada de água à temperatura da rede			

**Tabela 7.7 – Configuração das piscinas examinadas**

Características geométricas	
Área: 100 m <sup>2</sup>	Volume: 200 m <sup>3</sup>
Operação	
Temperatura da água: 26 °C	
Renovação mínima de água: 5 % do volume da piscina	
Nadadores entre as 9:00 e as 20:00 (horas solares)	
No caso de piscinas cobertas: temperatura na nave = 26°C, humidade relativa na nave = 70 %	
Cobertura com transmissividade 40 % colocada quando fora de operação	

serviços, apresentando valores tipicamente de 220 kWh/m<sup>2</sup> e 42 kWh/dormida para hotéis de 4 estrelas e 290 kWh/m<sup>2</sup> e 89 kWh/dormida para hotéis de 5 estrelas (Gonçalves, 1999), embora com uma variação muito significativa em função do estabelecimento específico.

Em termos absolutos estes edifícios são também importantes consumidores de energia: em hotéis de 4 estrelas, 500 a 7500 MWh/ano, com predominância para o intervalo de 1000 a 3000 MWh; e em hotéis de 5 estrelas, 3000 a 11 000 MWh/ano, com predominância para o intervalo de 3000 a 6000 MWh/ano.

Além disso a porção do consumo dedicado a climatização com equipamentos AVAC é nestes edifícios muito importante – cerca de 31% em hotéis de 4 estrelas e 33% em hotéis de 5 estrelas (ver Figura 7.4) – pois que, naturalmente, os

hotéis têm necessidade de proporcionar altos padrões de conforto aos seus clientes.

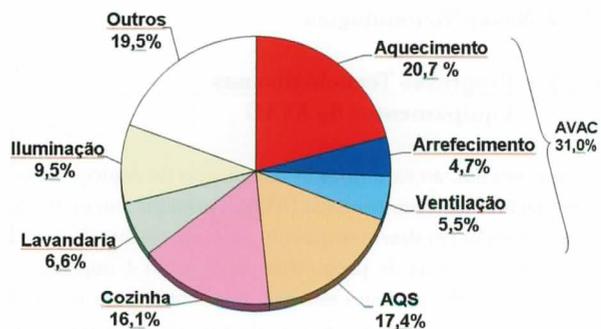


Figura 7.4 – Repartição do consumo de energia em hotéis de 4 estrelas por utilização final

Todos os cenários indicam uma actividade hoteleira crescente, ligada a uma manutenção ou aumento da importância económica e social do turismo. Também é relevante indicar que a grande maioria dos hotéis se situa actualmente – e provavelmente também no futuro – ao longo da faixa litoral, fazendo parte dos factores de pressão que importa ter presente nos estudos de impactos das alterações climáticas em outros sectores, tais como zonas costeiras, recursos hídricos e biodiversidade. Por todas estas razões o estudo deste tipo de edifício de serviços foi seleccionado como um dos temas novos prioritários relativamente à fase anterior do Projecto SIAM.

O modelo que se construiu pretende representar um piso de hotel de 4 estrelas típico. Foi formulado principalmente com base em estudos sobre as condições de utilização de energia e de segurança em hotéis (Gonçalves, 1999), encomendados pela Direcção-Geral de Geologia e Energia ao INETI e a outras entidades. Consiste numa zona social e num conjunto de 12 quartos com fachadas exteriores orientadas segundo os quatro pontos cardeais e separados por um corredor interno, tal como representado na Figura 7.5. Todos os quartos possuem a mesma área de pavimento, 24 m<sup>2</sup>, e de vãos envidraçados, 2 m<sup>2</sup>. A área social (*lobby* do hotel, salas de refeição, salas de estar, salas de conferências) ocupa 100 m<sup>2</sup> e possui vãos envidraçados nas quatro orientações, num total de 12 m<sup>2</sup>. A área total simulada por piso corresponde pois a 436 m<sup>2</sup>, dos quais 288 m<sup>2</sup> em quartos, 100 m<sup>2</sup> em zona social, e 48 m<sup>2</sup> em corredores.

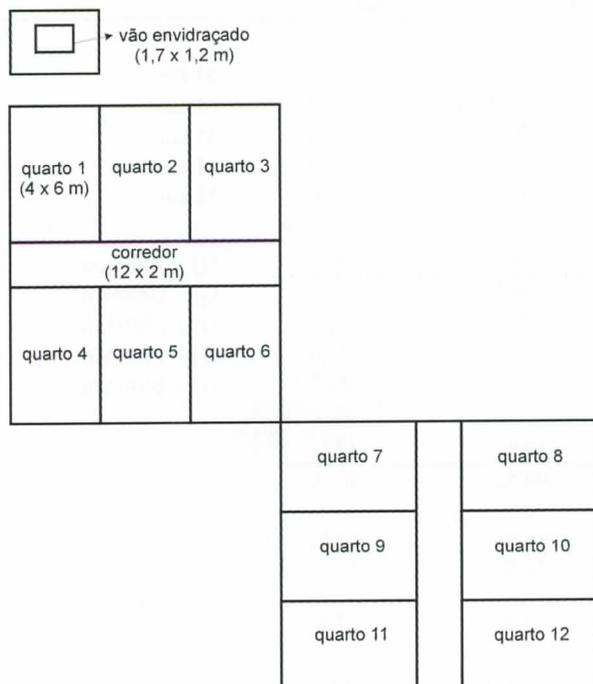


Figura 7.5 – Diagrama do hotel simulado

Como se pode apreciar na Figura 7.6, a maioria dos hotéis situa-se na zona climática regulamentar (RCCTE, 1990) dita II-V2, que abrange a zona de Lisboa, a Costa Vicentina e o Algarve. A seguir, por ordem de importância no Continente, figuram as zonas de Braga e Coimbra (I2-V1) e do Estoril e Sesimbra (II-V1).

Tendo em conta os recursos disponíveis e a compatibilidade com outros trabalhos, seleccionaram-se para locais de estudo Faro e Setúbal, ambos representativos da zona II-V2 que, conforme já referido, tem maior densidade de unidades hoteleiras. Esta escolha também resulta da vantagem em assegurar simultaneamente uma contribuição para o estudo de caso sobre os impactos das alterações climáticas na região da bacia hidrográfica do rio Sado. As características de construção e operação do hotel simulado figuram na Tabela 7.8.

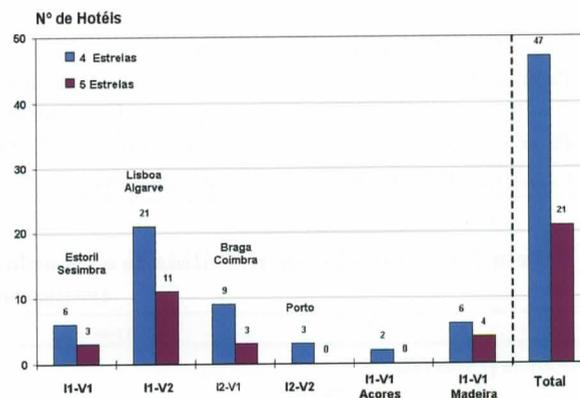


Figura 7.6 – Localização dos hotéis de 4 e 5 estrelas por região climática

#### 7.2.2.5 Climatização de Veículos Terrestres

Foi já referido nos resultados da primeira fase do Projecto SIAM (Aguiar, 2002) que as alterações climáticas, para além do impacto no consumo de energia para climatização em edifícios, afectam também o consumo de energia para a climatização em veículos, especialmente para transportes terrestres. Nesta segunda fase do SIAM fez-se uma primeira estimativa de impactos, através da aplicação de uma variante do método de «graus-dia», muito utilizado em estudos simplificados de climatização de edifícios e de desenvolvimento de culturas, entre outros.

A ideia base da abordagem seguida é admitir que o ar condicionado (A/C) é ligado quando a temperatura exterior a um veículo ultrapassar um determinado limiar de desconforto. É evidente que a radiação solar e a humidade relativa são

**Tabela 7.8 – Características de construção e operação do hotel simulado**

Ganhos internos	Quartos	Corredores	Total
Ocupação	2 pessoas 10 horas por dia (22:00-8:00)		
Iluminação	10 W/m <sup>2</sup> 3 horas/dia (22:00-24:00 e 7:00-8:00)	1 W/m <sup>2</sup> 24 horas/dia	10,6 kWh/m <sup>2</sup> .ano
Equipamento	–	–	–
AVAC	Quartos	Corredores	Taxa de ocupação
Verão	T <sub>conforto</sub> = 22 °C 10 horas/dia (22:00-8:00)	T <sub>conforto</sub> = 22 °C 24 horas/dia	75%
Inverno	T <sub>conforto</sub> = 20 °C 10 horas/dia (22:00-8:00)	T <sub>conforto</sub> = 20 °C 24 horas/dia	50%
Ventilação	0,8 renovações de ar por hora em todas as zonas		
Envolvente	Tipo	Fronteira	
Vãos envidraçados	duplo	exterior	
Sombreamento dos vãos	sem	–	
Paredes exteriores	alvenaria dupla de tijolo de 11+11 cm com 4 cm de isolamento entre panos	exterior	
Paredes interiores	alvenaria tijolo de 11 cm	interior/similar	
Cobertura/Pavimento	laje aligeirada	similar	

**Tabela 7.9 – Cenários de mobilidade e tecnologia para avaliação de impactos em climatização de transportes terrestres**

	Carros	Autocarros	Comboios		
Distância percorrida	BASE	42 218	588	91	M km
	A1	120 604	559	72	M km
	A2	103 937	768	118	M km
	B1	84 967	1011	172	M km
	B2	55 056	936	166	M km
	Consumo específico	BASE	3,3	11,6	39,5
A1		1,4	9,5	33,0	GJ / 1000 km
A2		1,6	10,2	34,5	GJ / 1000 km
B1		1,4	9,5	33,0	GJ / 1000 km
B2		1,6	10,2	34,5	GJ / 1000 km
Fracção de veículos equipada com A/C		BASE	40 %	40 %	40 %
	A1	90 %	90 %	90 %	
	A2	70 %	70 %	70 %	
	B1	80 %	80 %	80 %	
	B2	70 %	70 %	70 %	
	Consumo adicional com A/C em percentagem do consumo sem AC	7 %	5 %	2 %	
Temperatura exterior considerada como indicador do limiar de desconforto	25 °C	25 °C	25 °C		

outros factores importantes no comportamento dos utilizadores dos veículos, mas em primeira aproximação entende-se que o seu efeito pode ser acomodado na especificação do limiar de desconforto. Por outro lado, sabe-se que o A/C é muitas vezes ligado apenas para controlo de humidade (por exemplo para desembaciamento de vidros), mesmo durante o Inverno, mas esse fenómeno será aqui ignorado.

As estimativas de consumo adicional devido a A/C são feitas tomando o consumo adicional específico devido a A/C, a fracção de veículos equipada com A/C e a mobilidade (distância percorrida), para cada tipo de veículos – viaturas particulares e transportes colectivos, nomeadamente autocarros e comboios (ver Tabela 7.9). Os dados necessários foram obtidos a partir dos modelos desenvolvidos no Projecto MISP (Aguiar, 2003) para a situação actual (BASE) e para cada um dos cenários SRES. Note-se o grande aumento da mobilidade e da posse de A/C mas também da eficiência no consumo específico dos sistemas A/C instalados nos veículos.

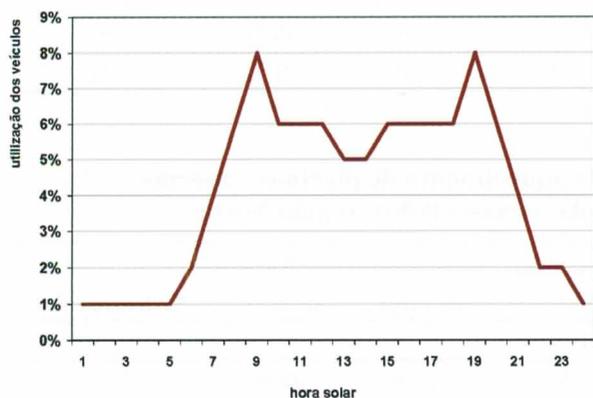


Figura 7.7 – Perfil de utilização para avaliação de impactos em climatização de transportes terrestres

Após especificar um perfil de utilização diário para os diversos veículos (ver Figura 7.7) calculam-se os valores do consumo adicional com A/C sempre que o critério de desconforto térmico é ultrapassado. Esta determinação é realizada para cada mês analisando os perfis médios mensais da temperatura dos cenários climáticos futuros e tendo em atenção o limiar de desconforto. Este procedimento não é especializado em relação aos veículos, isto é, não considera diferenças regionais no que respeita, por exemplo, à mobilidade e à posse de veículos particulares. Contudo, é possível incluir um certo grau de especialização pois os perfis médios mensais de temperatura projectados pelos cenários climáticos futuros do modelo HadCM3 (ver Capítulo 2) variam para as zonas Norte, Centro e Sul.

## 7.3 IMPACTOS

### 7.3.1 Região Norte

Para este estudo, a região Norte é *grosso modo* delimitada pelas latitudes 42 °N e 40 °N, de acordo com a célula do modelo HadCM3 mais próxima da zona. O clima base usado neste caso foi o da cidade do Porto, considerado representativo do clima da faixa litoral da região Norte.

#### 7.3.1.1 Aquecimento de Águas

As necessidades de energia para aquecimento de águas diminuem significativamente na região Norte: tipicamente entre -6 % e -20 %, conforme os cenários e as aplicações (ver Tabelas 7.10 a 7.13). Este resultado decorre essencialmente de que a água a aquecer terá uma temperatura inicial alguns graus mais elevada do que actualmente, enquanto as temperaturas-alvo finais mantêm-se essencialmente as mesmas que hoje em dia: cerca de 24 °C a 27 °C para piscinas, 40 °C a 50 °C para águas sanitárias e 85 °C a 95 °C para pré-aquecimento de águas industriais.

As estimativas de impacto no cenário B1 são de -9 % para águas sanitárias; de -6 % para pré-aquecimento de águas industriais; de -11 % para aquecimento de piscinas cobertas; e de -47 % para aquecimento de piscinas exteriores. No cenário A1 as estimativas são ainda mais favoráveis em termos de poupança de energia, cerca do dobro das do cenário B1; em particular não é sequer necessário, durante o Verão, aquecer as piscinas exteriores. No entanto recorde-se que neste cenário a procura de energia em termos absolutos é muito maior do que no cenário B1.

#### 7.3.1.2 Sistemas Solares Térmicos

Em parte devido à redução da carga térmica necessária para satisfazer os requisitos de consumo, já discutida no ponto anterior, mas também devido a um pequeno incremento na disponibilidade de energia solar à superfície, os sistemas de aquecimento por energia solar aumentam a sua atractividade em relação aos sistemas baseados apenas na combustão ou na electricidade. De facto, mantendo os critérios de optimização do dimensionamento actuais, o desempenho específico dos sistemas aumenta e há reduções da área de colectador solar necessária que variam entre -10 % a -57 % (ver as Tabelas 7.10 a 7.12), e mais ainda para piscinas exteriores (Tabela 7.13). As reduções são maiores nos cenários A1 e A2 e também para as aplicações com temperatura-alvo mais baixa. Isto reflecte-se naturalmente na redução de

**Tabela 7.10 – Impactos no desempenho e dimensionamento de sistemas solares de aquecimento de águas sanitárias para a região Norte**

Cenário	Carga kWh	Área m <sup>2</sup>	Desempenho kWh/m <sup>2</sup>	Variação		
				da carga	da área	do desempenho
BASE	3994	8,8	342			
B1	3651	6,4	426	-9 %	-27 %	25 %
B2	3623	7,1	382	-9 %	-19 %	12 %
A2	3482	6,4	411	-13 %	-27 %	20 %
A1	3296	5,6	443	-17 %	-36 %	30 %

**Tabela 7.11 – Impactos nas necessidades de pré-aquecimento de águas industriais e no dimensionamento de sistemas solares associados para a região Norte**

Cenário	Carga kWh	Área m <sup>2</sup>	Desempenho kWh/m <sup>2</sup>	Fracção solar anual	Variação		
					da carga	da área	do desempenho
BASE	607	165	592	16,3 %			
B1	572	147	646	16,9 %	-6 %	-11 %	9 %
B2	569	148	639	17,0 %	-6 %	-10 %	8 %
A2	555	140	663	17,1 %	-9 %	-15 %	12 %
A1	536	131	691	17,4 %	-12 %	-21 %	17 %

**Tabela 7.12 – Impactos nas necessidades de aquecimento de piscinas cobertas e no dimensionamento de sistemas solares associados: região Norte**

Cenário	Carga kWh	Área m <sup>2</sup>	Desempenho kWh/m <sup>2</sup>	Fracção solar anual	Variação		
					da carga	da área	do desempenho
BASE	136 754	93	792	54 %			
B1	121 270	60	941	47 %	-11 %	-35 %	+19 %
B2	120 067	60	937	47 %	-12 %	-35 %	+18 %
A2	114 273	49	995	43 %	-16 %	-47 %	+26 %
A1	106 625	40	1084	41 %	-22 %	-57 %	+37 %

**Tabela 7.13 – Impactos nas necessidades de aquecimento de piscinas exteriores e no dimensionamento de sistemas solares associados: região Norte**

Cenário	Carga kWh	Área m <sup>2</sup>	Desempenho kWh/m <sup>2</sup>	Variação		
				da carga	da área	do desempenho
BASE	91 267	101	521			
B1	48 351	25	471	-47 %	-75 %	-10 %
B2	43 961	13	476	-52 %	-87 %	-9 %
A2	0	n.a. <sup>1</sup>	n.a.	-100 %	n.a.	n.a.
A1	0	n.a.	n.a.	-100 %	n.a.	n.a.

<sup>1</sup> n.a. = não aplicável

custos dos sistemas solares térmicos em relação à situação actual.

### 7.3.1.3 Climatização de Residências

Nos estudos de impacto para o subsector residencial a questão do contexto socioeconómico é muito importante, pelo que será apresentada em primeiro lugar. Em todos os cenários a busca de conforto é maior, contudo o consumo de energia depende de factores sociais tais como: tempo passado na habitação, dimensão das famílias e das próprias habitações, intervalos térmicos de conforto. Depende também de outro tipo de factores, tais como, os regulamentos de construção vigentes e a tecnologia de AVAC disponível. Assim, conforme se indica na Figura 7.8 e na Tabela 7.14, em relação ao presente (identificado como «Base» nas figuras), a procura de energia para arrefecimento sobe em todos os cenários, mas a energia para aquecimento apenas sobe nos cenários A1 e A2. Em termos anuais o balanço final da procura de energia também depende do cenário considerado. A procura total de energia AVAC sobe em A1 (cerca de 250 %), A2 (cerca de 100 %) e em B2 embora por uma percentagem menor (cerca de 30 %). No cenário B1 há uma redução de cerca de 10 % resultante de um conjunto feliz de boas regulamentações, modificação de comportamentos e melhor tecnologia (ver Figura 7.10).

Quando se inclui o efeito do clima futuro a procura de energia para aquecimento reduz-se muito (ver Tabela 7.14 e Figura 7.9) e quase desaparece no cenário B2. Contudo, a procura de energia para arrefecimento aumenta muito nesta região, mais do que compensando as reduções estimadas para o aqueci-

**Tabela 7.14 – Estimativas de consumo de energia para climatização em habitações do Norte do país ( kWh / ano )**

Clima	Cenário SE*			Total	Δ
Actual	Base	247	56	303	
Actual	A1	1744	285	2028	252 %
Actual	A2	834	228	1062	100 %
Actual	B1	158	84	241	-29 %
Actual	B2	73	271	344	-13 %
Actual	Base	247	56		
A1	A1	637	1751	2388	309 %
A2	A2	402	1087	1489	167 %
B1	B1	63	283	347	-13 %
B2	B2	18	590	608	28 %

\* Cenários Socioeconómicos

mento. Assim em termos anuais, a procura total de energia AVAC, considerando simultaneamente os cenários climáticos e socioeconómicos, sobe sempre (ver Figura 7.10) – entre cerca de 70 % no cenário B1 até quase 10 vezes no cenário A1.

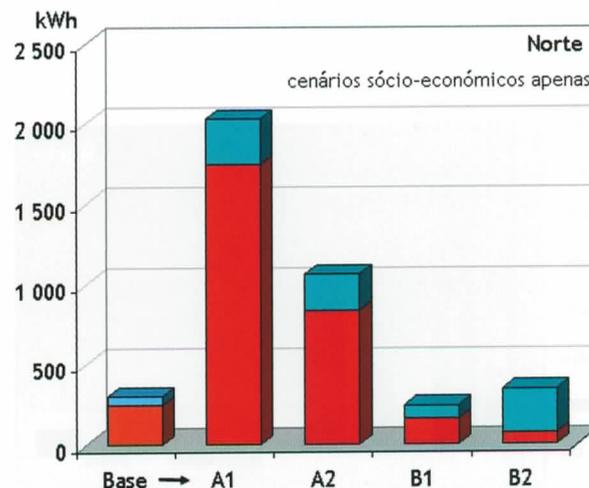


Fig. 7.8 – Efeito dos cenários socioeconómicos no consumo de energia para climatização em habitações do Norte do país (aquecimento em laranja e arrefecimento em tons de azul)

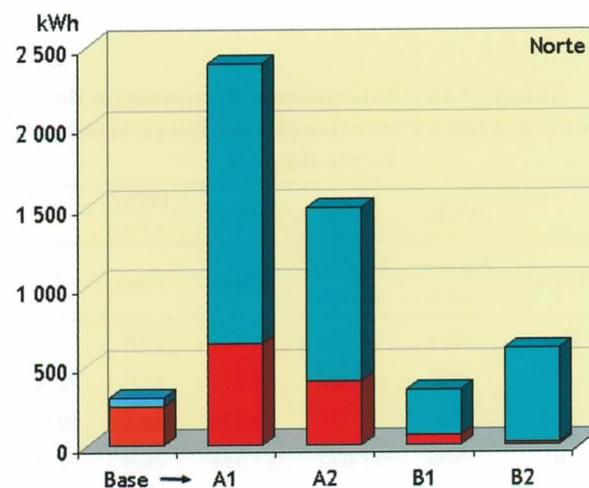


Figura 7.9 – Impacto das alterações climáticas no consumo de energia para climatização em habitações do Norte do país (aquecimento representado em laranja e arrefecimento em tons de azul)

### 7.3.1.4 Climatização de Edifícios de Serviços

Para a região Norte foram reanalisadas, com os novos dados do cenário climático do modelo HadCM3, as estimativas de impacto na climatização de um piso de escritórios, represen-

tativo neste caso dos edifícios de serviços. Os resultados estão descritos na Tabela 7.15 e na Figura 7.11, e conforme foi anteriormente referido, são indiferentes aos cenários socioeconómicos. Note-se a grande redução dos consumos para aquecimento, o que no entanto é mais do que compensado pelo aumento dos consumos para arrefecimento.

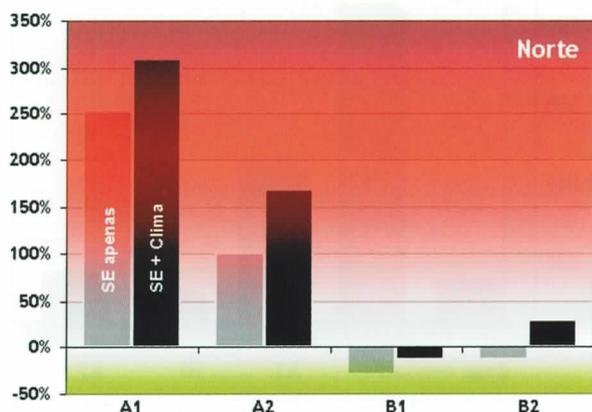


Figura 7.10 – Variações relativas do consumo de energia para climatização em habitações do Norte do país, (apenas com os cenários socioeconómicos representados a cinzento e combinação dos cenários climáticos futuros representados a negro)

**Tabela 7.15 – Estimativas de consumo de energia para climatização em escritórios no Norte do país**

Clima	(kWh)	(kWh)	(kWh)	(kWh/m <sup>2</sup> )	Δ
	Aquecimento	Arrefecimento	Total	Total	
Base	1233	17 679	18 912	23,6	
A1	210	28 302	28 512	35,6	51 %
A2	376	27 751	28 126	35,2	49 %
B1	506	21 042	21 548	26,9	14 %
B2	488	23 688	24 176	30,2	28 %

Em termos quantitativos obtém-se um aumento do consumo específico de cerca de 24 kWh/m<sup>2</sup>/ano, no caso de referência, para cerca de 27 kWh/m<sup>2</sup>/ano no cenário B1, cerca de 30 kWh/m<sup>2</sup>/ano no cenário B2 e cerca de 35 kWh/m<sup>2</sup>/ano nos restantes casos. Expresso em aumentos relativos, aqui mais confiáveis do que as estimativas em valor absoluto, tem-se um impacto ligeiro de +14 % em B1, mas cerca do dobro em B2 e quase o triplo em A1 e A2 (ver Figura 7.12).

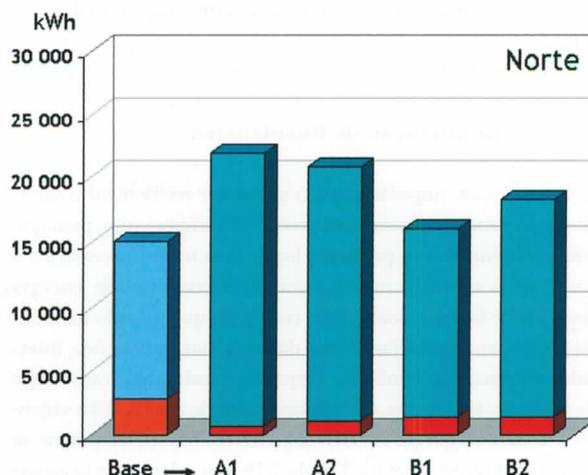


Figura 7.11 – Impacto das alterações climáticas no consumo de energia para climatização em escritórios no Norte do país (aquecimento representado em laranja e vermelho e arrefecimento em tons de azul)

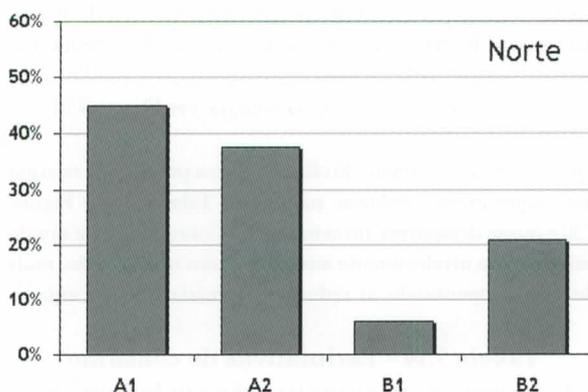


Figura 7.12 – Variações relativas do consumo de energia para climatização em escritórios no Norte do país.

### 7.3.1.5 Climatização de Veículos

As conclusões dos estudos sobre o uso de A/C em veículos terrestres indicam um enorme aumento das necessidades de arrefecimento, conforme descrito na Tabela 7.16. Enquanto se estima em cerca de 250 horas de viagem o período em que actualmente seria mais confortável para os ocupantes usar o A/C, no futuro esse período varia entre cerca de 1500 horas no cenário B2 e cerca de 2600 horas no cenário A1 (ver Figura 7.13).

A energia gasta não é contudo proporcional a este incremento nas necessidades, pois há que ter em conta os cenários socioeconómicos futuros. Daí resulta uma ampliação

das diferenças entre cenários, para a qual contribuem vários factores, essencialmente a maior mobilidade nos cenários A1 e B1 e a maior posse do automóvel nos cenários A1 e A2. Contudo, em termos percentuais referidos ao consumo no subsector em cada época, a conclusão é que para todos os cenários a energia adicional gasta com A/C passa dos cerca de 1 % actuais para cerca de 7 % no futuro. Note-se que cerca de metade deste incremento resulta da maior percentagem de veículos equipados com A/C no futuro.

**Tabela 7.16 – Impactos nas necessidades e no consumo de ar condicionado em veículos terrestres: região Norte**

	potencial de utilização (horas/ano)	consumo adicional devido a A/C	
		relativo ao consumo actual	relativo ao consumo futuro
BASE	249	1 %	
A1	2569	28 %	7 %
A2	2050	18 %	6 %
B1	1625	12 %	7 %
B2	1501	7 %	7 %

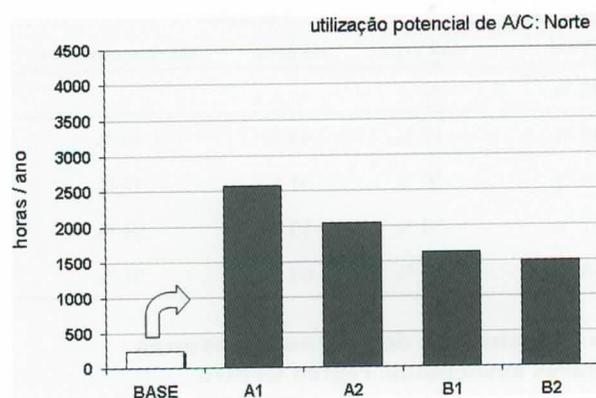


Figura 7.13 – Impactos nas necessidades de ar condicionado em veículos terrestres: região Norte

### 7.3.2 Região Centro

Para este estudo, a região Centro é *grosso modo* delimitada pelas latitudes 40 °N e 38,5 °N, de acordo com a célula do modelo HadCM3 mais próxima da zona. O clima base usado

neste caso foi o da cidade de Setúbal. Setúbal foi escolhida em vez de uma cidade mais a norte (por exemplo, Lisboa ou Coimbra), por motivos de compatibilidade com o estudo do caso sobre os impactos das alterações climáticas na bacia do rio Sado. Como este local fica no limite inferior da zona Centro, os resultados dos estudos em termos relativos (anomalia) são provavelmente mais fiáveis do que os valores absolutos.

#### 7.3.2.1 Aquecimento de Águas

As necessidades de energia para aquecimento de águas diminuem significativamente na região Centro: tipicamente entre -7 % e -29 %, conforme os cenários e as aplicações (ver Tabelas 7.17 a 7.20).

As estimativas do impacto das alterações climáticas no consumo de energia no quadro do cenário B1 são: -11 % para águas sanitárias; -7 % para pré-aquecimento de águas industriais; -15 % para aquecimento de piscinas cobertas e; -60 % para aquecimento de piscinas exteriores. No cenário A1 as estimativas são ainda mais favoráveis, cerca do dobro, não sendo necessário aquecer as piscinas exteriores durante o Verão. No entanto recorde-se que neste cenário a procura de energia é muito maior do que no cenário B1.

#### 7.3.2.2 Sistemas Solares Térmicos

As conclusões para a região Centro são semelhantes às que se obtiveram para a região Norte e foram relatadas na secção 7.3.1.2. Mantendo os critérios de dimensionamento actuais o desempenho específico dos sistemas aumenta e há reduções da área de colector solar necessário que variam entre -10 % e -64 % (ver Tabelas 7.17 e 7.19). A redução é ainda maior para piscinas exteriores (ver Tabela 7.20).

#### 7.3.2.3 Climatização de Residências

No subsector residencial é essencial considerar o contexto socioeconómico. Tal como foi já referido na secção 7.3.1.3 para a região Norte a busca de conforto é maior em todos os cenários.

Como se indica na Figura 7.14 e Tabela 7.21, em relação ao presente (identificado como «Base» nas figuras), a procura de energia para arrefecimento sobe em todos os cenários, embora pouco no cenário B1. Enquanto que o aumento da procura de energia para aquecimento é praticamente nulo nos cenários B2 e B1, ele sobe substancialmente nos cenários A1 e A2. Em termos anuais, a procura total de energia AVAC aumenta bastante nos cenários A1 (cerca de 260 %)

**Tabela 7.17 – Impactos no desempenho e dimensionamento de sistemas solares de aquecimento de águas sanitárias: região Centro**

Cenário	Carga kWh	Área m <sup>2</sup>	Desempenho kWh/m <sup>2</sup>	Variação		
				da carga	da área	do desempenho
BASE	3660	5,7	481			
B1	3257	4,4	559	-11 %	-23 %	16 %
B2	3241	4,5	546	-11 %	-10 %	14 %
A2	3065	4,1	559	-16 %	-28 %	16 %
A1	2897	3,8	578	-21 %	-34 %	20 %

**Tabela 7.18 – Impactos nas necessidades de pré-aquecimento de águas industriais e no dimensionamento de sistemas solares associados: região Centro**

Cenário	Carga kWh	Área m <sup>2</sup>	Desempenho kWh/m <sup>2</sup>	Fracção solar anual	Variação		
					da carga	da área	do desempenho
BASE	573	149	654	17,3 %			
B1	532	126	731	17,7 %	-7 %	-16 %	12 %
B2	530	128	718	17,8 %	-8 %	-14 %	10 %
A2	512	119	747	17,9 %	-11 %	-20 %	14 %
A1	495	113	764	18,1 %	-14 %	-24 %	17 %

**Tabela 7.19 – Impactos nas necessidades de aquecimento de piscinas cobertas e no dimensionamento de sistemas solares associados: região Centro**

Cenário	Carga kWh	Área m <sup>2</sup>	Desempenho kWh/m <sup>2</sup>	Fracção solar anual	Variação		
					da carga	da área	do desempenho
BASE	107 642	59	975	53 %			
B1	91 110	33	1156	42 %	-15 %	-44 %	19 %
B2	90 434	35	1142	44 %	-16 %	-41 %	17 %
A2	83 181	28	1205	41 %	-23 %	-53 %	24 %
A1	76 246	21	1274	35 %	-29 %	-64 %	31 %

**Tabela 7.20 – Impactos nas necessidades de aquecimento de piscinas exteriores e no dimensionamento de sistemas solares associados: região Centro**

Cenário	Carga kWh	Área m <sup>2</sup>	Desempenho kWh/m <sup>2</sup>	Variação		
				da carga	da área	do desempenho
BASE	91 703	111	622			
B1	36 983	13	546	-60 %	-88 %	-12 %
B2	32 873	10	428	-64 %	-91 %	-31 %
A2	0	n.a.	n.a.	-100 %	n.a.	n.a.
A1	0	n.a.	n.a.	-100 %	n.a.	n.a.

e A2 (cerca de 130 %), mas é relativamente pequena no cenário B1 (subida de apenas cerca de 30 %) e reduz-se no cenário B1 (-30 %), indicando o efeito potencial das regulamentações, da modificação de comportamentos e da melhor tecnologia (ver Figura 7.16).

**Tabela 7.21 – Estimativas de consumo de energia para climatização em habitações do Centro do país (kWh / ano)**

Clima	Cenário SE	Aquecimento	Arrefecimento	Total	$\Delta$
Actual	Base	68	255	323	
Actual	A1	806	817	1623	256 %
Actual	A2	352	674	1026	125 %
Actual	B1	31	290	321	-30 %
Actual	B2	4	575	579	27 %
Actual	Base	68	255		
A1	A1	190	3263	3453	657 %
A2	A2	115	2062	2178	377 %
B1	B1	8	630	638	40 %
B2	B2	0	1060	1060	132 %

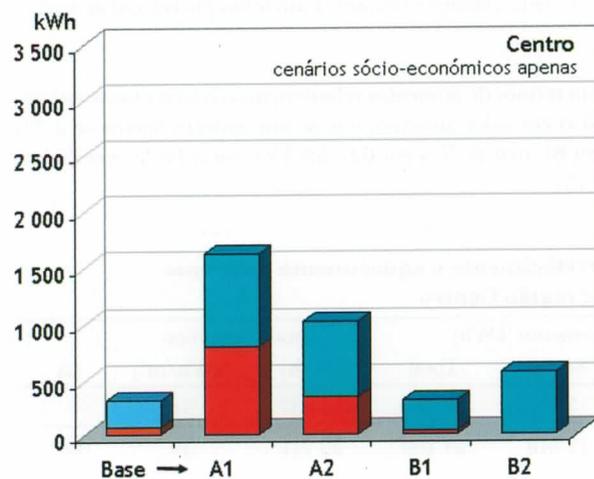


Figura 7.14 – Efeito dos cenários socioeconómicos no consumo de energia para climatização em habitações do Centro do país (aquecimento representado a laranja e vermelho e arrefecimento em tons de azul)

Quando se inclui o efeito do clima futuro a procura de energia para aquecimento sobe pouco nos cenários A1 e A2 (ver Tabela 7.21 e Figura 7.15), e continua insignificante nos cenários B1 e B2. Contudo, a procura de energia para arrefecimento sobe enormemente nesta região. Assim, em termos anuais, a procura total de energia AVAC, considerando simultaneamente os cenários climáticos e socioeconómicos, aumenta em todos os casos (ver também a Figura 7.16); apenas cerca de 40 % no cenário B1 mas quase sete vezes no cenário A1.

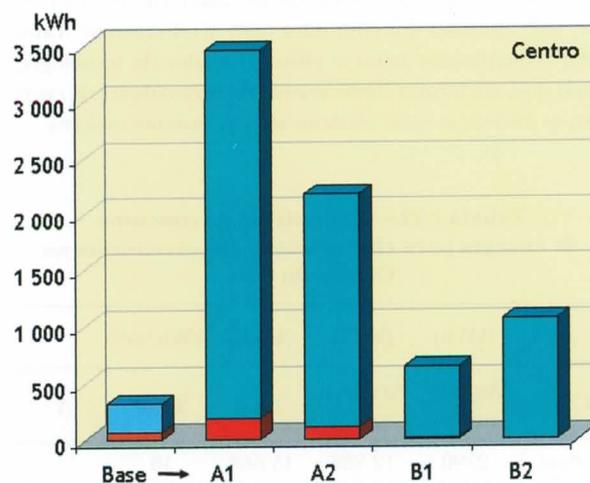


Figura 7.15 – Impacto das alterações climáticas no consumo de energia para climatização em habitações do Centro do país (aquecimento representado a laranja e vermelho e arrefecimento em tons de azul)

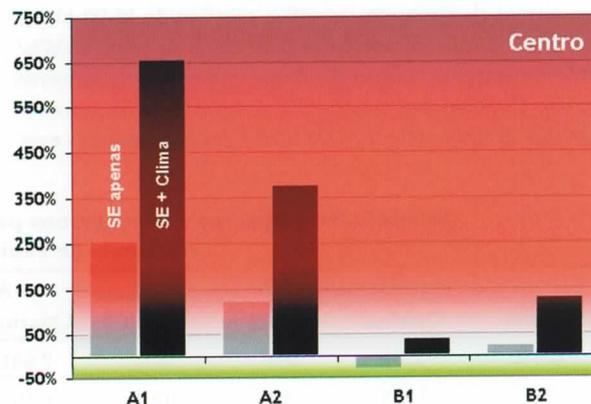


Figura 7.16 – Variações relativas do consumo de energia para climatização em habitações no Centro do país (apenas com os cenários socioeconómicos representado a cinzento e combinação com os impactos dos cenários climáticos futuros representados a negro)

### 7.3.2.4 Climatização de Edifícios de Serviços

Para a região Centro fez-se a análise do comportamento térmico de um piso de escritórios e de um piso de hotel de quatro estrelas, representativos dos edifícios de serviços, utilizando, tal como para a região Norte, os dados dos cenários climáticos obtidos com o modelo HadCM3.

Os resultados estão descritos nas Tabelas 7.22 e 7.23 e nas Figuras 7.17 e 7.18. Tal como no caso anterior são indiferentes aos cenários socioeconómicos admitidos. Note-se a substancial redução dos consumos para aquecimento, o que no entanto é sempre mais do que compensado, em termos anuais, pelo aumento dos consumos para arrefecimento. Também é interessante notar o efeito nivelador da tecnologia, dado que, em termos simplesmente de necessidades de energia, as diferenças entre cenários seriam bastante maiores.

**Tabela 7.22 – Estimativas de consumo de energia para climatização em escritórios no Centro do país**

Clima	(kWh)		(kWh/m <sup>2</sup> )		Δ
	Aquecimento	Arrefecimento	Total	Total	
Base	2798	12 266	15 064	19	
A1	682	21 152	21 834	27	45 %
A2	1054	19 680	20 733	26	38 %
B1	1286	14 693	15 979	20	6 %
B2	1335	16 882	18 217	23	21 %

Em termos de consumo específico passa-se de 19-20 kWh/m<sup>2</sup>/ano no caso de referência para cerca de mais 1 kWh/m<sup>2</sup>/ano extra no cenário B1, o que representa um aumento ligeiro. Contudo, no cenário B2 o aumento é já cerca de 4 kWh/m<sup>2</sup>/ano e cerca de 8 kWh/m<sup>2</sup>/ano nos restantes casos.

**Tabela 7.23 – Impactos nos consumos para arrefecimento e aquecimento ambiente em hotéis de 4 estrelas: região Centro**

Clima	Aquecimento (kWh)			Arrefecimento (kWh)			Total Específico		Δ
	Quartos	Social	Total	Quartos	Social	Total	(kWh)	(kWh/m <sup>2</sup> )	
BASE	5231	577	5808	2 631	5 198	7 829	13 637	31	
A1	1553	48	1601	11 291	12 818	24 109	25 711	59	89 %
A2	2137	103	2240	9 321	11 136	20 457	22 697	52	66 %
B1	3061	235	3296	6 906	9 124	16 030	19 326	44	42 %
B2	3013	201	3214	7 241	9 347	16 588	19 802	45	45 %

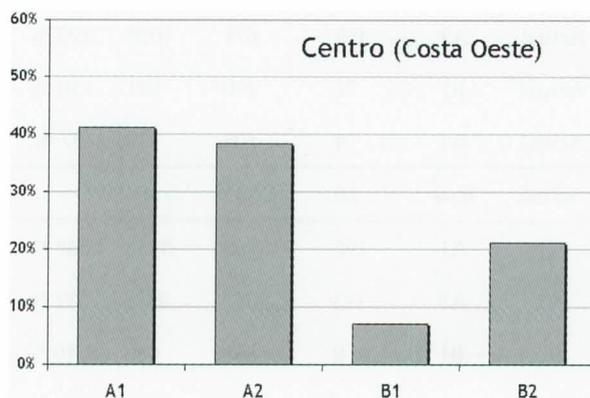
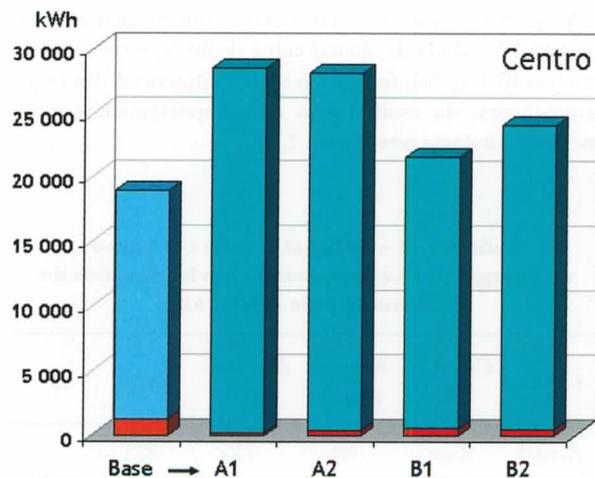


Figura 7.17 – Impacto das alterações climáticas no consumo de energia para climatização em edifícios de serviços no centro do país. Em cima: escritórios; em baixo: hotéis de 4 estrelas (aquecimento representado a laranja e vermelho e arrefecimento em tons de azul)

Em termos de aumentos relativos, mais fiáveis que as estimativas em valor absoluto, tem-se um impacto ligeiro de 6-7% em B1, mas já 21% em B2 e 38-45% em A2 e A1 (ver Figura 7.18)

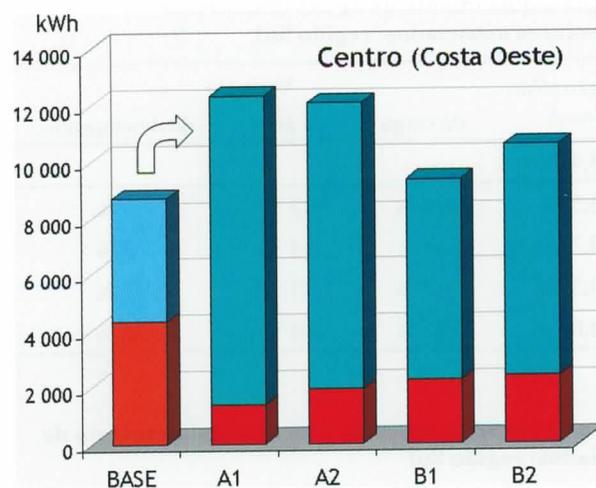
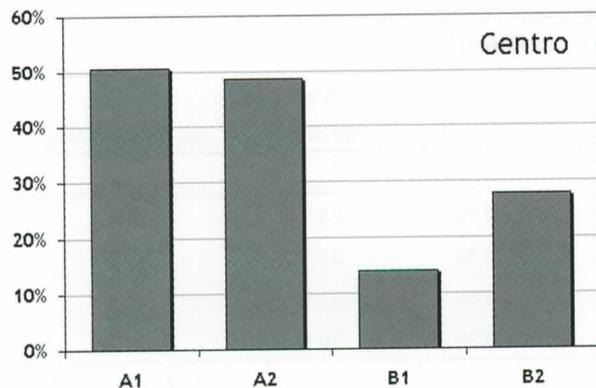


Figura 7.18 – Impactos relativos das alterações climáticas no consumo de energia para climatização em edifícios de serviços no Centro do país. Em cima: escritórios; em baixo: hotéis

### 7.3.2.5 Climatização de Veículos

Tal como no caso da região Norte, referido na secção 7.3.1.5, os estudos sobre uso de A/C em veículos (terrestres) indicam um enorme aumento das necessidades de arrefecimento (ver Tabela 7.24). Enquanto se estima em cerca de 1300 horas de viagem o período em que actualmente seria mais confortável usar o A/C, no futuro esse período varia entre cerca de 2400 horas no cenário B1 e cerca de 3700 horas no cenário A1 (ver Figura 7.19).

A energia gasta não é proporcional a este incremento nas necessidades, pois há que ter em conta os cenários socioeconómicos futuros. Daí resulta uma amplificação das diferenças entre cenários, para a qual contribuem vários factores, essencialmente a maior mobilidade nos cenários A1 e B1 e a maior posse do automóvel nos cenários A1 e A2, conforme foi já refe-

rido na secção 7.3.1.5. Em termos percentuais, referidos ao consumo no subsector no período correspondente, a conclusão é que, para todos os cenários, a energia adicional gasta com A/C passa dos cerca de 5 % actuais para quase o dobro no futuro (mais uma vez, cerca de metade deste incremento resulta da maior percentagem de veículos com A/C no futuro).

**Tabela 7.24 – Impactos nas necessidades e no consumo de ar condicionado em veículos terrestres: região Centro**

	potencial de utilização (horas/ano)	consumo adicional devido a A/C	
		relativo ao consumo actual	relativo ao consumo futuro
BASE	1288	5 %	
A1	3733	37 %	10 %
A2	3243	24 %	9 %
B1	2401	13 %	8 %
B2	2694	9 %	9 %

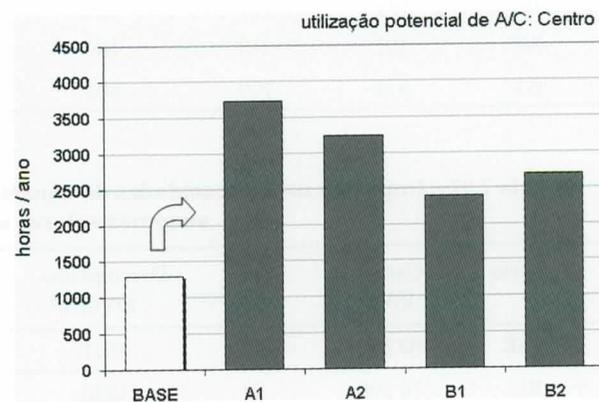


Figura 7.19 – Impactos nas necessidades de ar condicionado em veículos terrestres: região Centro

### 7.3.3 Região Sul

Para este estudo, a região Sul é *grossa modo* delimitada pelas latitudes 38,5 °N e 37 °N, de acordo com a célula do modelo HadCM3 mais próxima da zona. O clima base usado neste caso foi o da cidade de Faro, considerado representativo do clima da faixa litoral da região.

#### 7.3.3.1 Aquecimento de Águas

As necessidades de energia para aquecimento de águas diminuem muito significativamente na região Sul: tipicamente

**Tabela 7.25 – Impactos no desempenho e dimensionamento de sistemas solares de aquecimento de águas sanitárias: região Sul**

Cenário	Carga kWh	Área m <sup>2</sup>	Desempenho kWh/m <sup>2</sup>	Variação		
				da carga	da área	do desempenho
BASE	3509	4,4	598			
B1	3088	3,3	701	-12 %	-25 %	17 %
B2	3054	3,4	679	-13 %	-23 %	14 %
A2	2869	3,0	713	-18 %	-31 %	19 %
A1	2706	2,8	722	-23 %	-36 %	21 %

**Tabela 7.26 – Impactos nas necessidades de pré-aquecimento de águas industriais e no dimensionamento de sistemas solares associados: região Sul**

Cenário	Carga kWh	Área m <sup>2</sup>	Desempenho kWh/m <sup>2</sup>	Fracção solar anual	Variação		
					da carga	da área	do desempenho
BASE	558	142	711	18,4 %			
B1	514	121	776	18,5 %	-8 %	-15 %	9 %
B2	511	123	766	18,7 %	-8 %	-14 %	8 %
A2	492	113	789	18,5 %	-12 %	-21 %	11 %
A1	474	109	802	18,8 %	-15 %	-24 %	13 %

**Tabela 7.27 – Impactos nas necessidades de aquecimento de piscinas cobertas e no dimensionamento de sistemas solares associados: região Sul**

Cenário	Carga kWh	Área m <sup>2</sup>	Desempenho kWh/m <sup>2</sup>	Fracção solar anual	Variação		
					da carga	da área	do desempenho
BASE	107 868	67	1071	67 %			
B1	76 598	38	1233	64 %	-29 %	-43 %	15 %
B2	72 229	39	1233	67 %	-33 %	-42 %	15 %
A2	64 600	30	1299	60 %	-40 %	-55 %	21 %
A1	57 876	27	1343	63 %	-46 %	-60 %	25 %

**Tabela 7.28 – Impactos no desempenho e dimensionamento de sistemas solares de aquecimento de águas sanitárias: região Sul**

Cenário	Carga kWh	Área m <sup>2</sup>	Desempenho kWh/m <sup>2</sup>	Variação		
				da carga	da área	do desempenho
BASE	71 661	66	687			
B1	0	n.a.	n.a.	-100 %	n.a.	n.a.
B2	0	n.a.	n.a.	-100 %	n.a.	n.a.
A2	0	n.a.	n.a.	-100 %	n.a.	n.a.
A1	0	n.a.	n.a.	-100 %	n.a.	n.a.

entre -8 % e -46 %, conforme os cenários e as aplicações (ver Tabelas 7.25 a 7.28).

As estimativas do impacto das alterações climáticas no consumo de energia no quadro do cenário B1 são: -12 % para águas sanitárias; -8 % para pré-aquecimento de águas industriais e -29 % para aquecimento de piscinas cobertas. No cenário A1 as estimativas são ainda mais favoráveis, cerca do dobro das reduções, embora haja a recordar que neste cenário a procura de energia é muito maior do que no cenário B1. Quanto às piscinas exteriores em nenhum dos cenários é necessário qualquer aquecimento durante o Verão.

### 7.3.3.2 Sistemas Solares Térmicos

As conclusões para a região Sul são semelhantes às que se obtiveram para as regiões Norte e Centro relatadas nas secções 7.3.1.2 e 7.3.2.2, respectivamente. Mantendo a metodologia actual de dimensionamento, o desempenho específico dos sistemas aumenta e há reduções da área de colectores solar necessária que variam entre -14 % e -60 % (ver Tabelas 7.25 a 7.27). As reduções são um pouco maiores para os cenários A1 e A2 e também para as aplicações com temperatura-alvo mais baixa. Estas conclusões reflectem-se numa provável futura redução de custos dos sistemas solares térmicos em relação à situação actual.

### 7.3.3.3 Climatização de Residências

As conclusões genéricas referidas nos primeiros parágrafos dos sectores 7.3.1.3 e 7.3.2.3 aplicam-se também naturalmente à região Sul.

Como se indica na Figura 7.20 e Tabela 7.29, em relação ao presente, a procura de energia para arrefecimento sobe em todos os cenários, embora menos acentuadamente no cenário B1. Apesar da procura de energia para aquecimento no Sul do país desaparecer nos cenários B2 e B1, ela sobe substancialmente nos cenários A1 e A2. Em termos anuais, a procura total de energia para sistemas AVAC aumenta significativamente nos cenários A1 (cerca de 250 %) e A2 (cerca de 130 %); tem uma subida moderada no cenário B2 (subida de cerca de 40 %) e é ligeiramente reduzida no cenário B1 (-20 %), indicando o grande potencial das regulamentações, da modificação de comportamentos e da melhor tecnologia (ver Figura 7.22).

Quando se inclui o efeito do clima futuro, a procura de energia para aquecimento apenas sobe de forma significativa no cenário A1 e continua a ser pouco relevante ou inexistente nos restantes cenários (ver Tabela 7.29 e Figura 7.21). Contudo, a procura de energia para arrefecimento sobe enorme-

mente nesta região. Assim, em termos anuais, a procura total de energia AVAC, considerados simultaneamente os cenários climáticos e socioeconómicos, aumenta em todos os casos (ver Figura 7.22) – desde cerca de 70 % no cenário B1 até cerca de nove vezes mais no cenário A1. De facto neste último caso os consumos para arrefecimento ficam semelhantes aos valores típicos de consumo de energia para aquecimento em climas frios do Norte da Europa, mesmo considerando neste cenário tecnologias superiores às actuais.

**Tabela 7.29 – Estimativas de consumo de energia para climatização em habitações do Sul do país (kWh / ano)**

Clima	Cenário SE	Aquecimento	Arrefecimento	Total	Δ
Actual	Base	35	362	397	
Actual	A1	558	1188	1746	244 %
Actual	A2	222	928	1150	127 %
Actual	B1	9	403	412	-19 %
Actual	B2	1	724	725	43 %
Actual	Base		362		
A1	A1	100	5259	5359	957 %
A2	A2	42	2190	2232	340 %
B1	B1	3	848	851	68 %
B2	B2	0	1099	1099	117 %

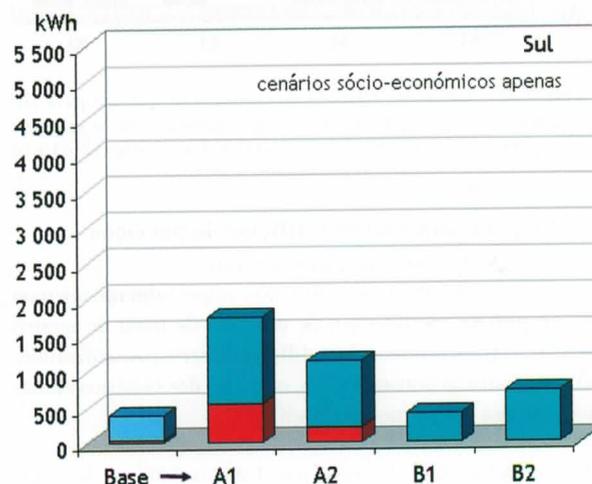


Figura 7.20 – Efeito dos cenários socioeconómicos no consumo de energia para climatização em habitações do Sul do país (aquecimento representado a laranja e vermelho e arrefecimento em tons de azul)

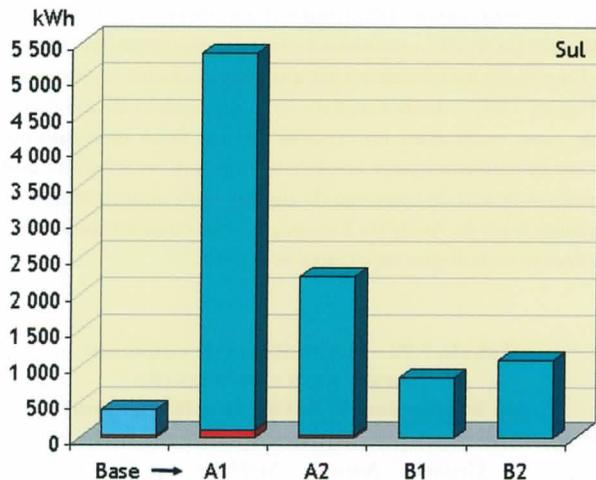


Figura 7.21 – Impacto das alterações climáticas no consumo de energia para climatização em habitações do Sul do país (aquecimento representado a laranja e vermelho e arrefecimento em tons de azul)

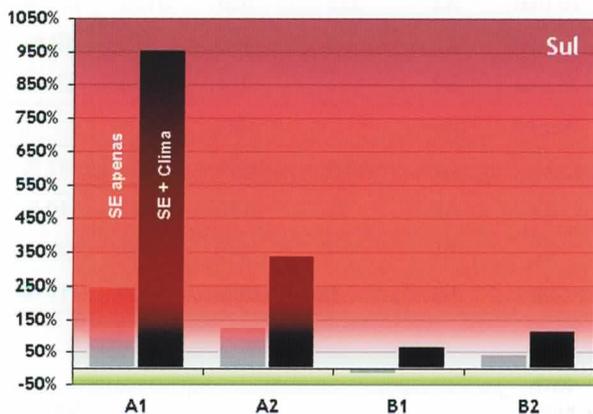


Figura 7.22 – Variações relativas do consumo de energia para climatização em habitações do Sul do país (apenas com os cenários socioeconómicos representados a cinzento e dos cenários climáticos futuros representado a negro)

### 7.3.3.4 Climatização de Edifícios de Serviços

Para a região Sul fez-se a análise do comportamento térmico de um piso de escritórios e de um piso de hotel de quatro estrelas, representativos dos edifícios de serviços, utilizando, tal como para as outras regiões, os dados dos cenários climáticos obtidos com o modelo HadCM3.

Os resultados estão descritos nas Tabelas 7.30 e 7.31 e nas Figuras 7.23 e 7.24, e tal como nos casos anteriores, neste caso são indiferentes aos cenários socioeconómicos. Note-se a substancial redução dos consumos para aquecimento, o que, no entanto, é sempre mais do que compensado em termos anuais

pelo aumento dos consumos para arrefecimento. Mais uma vez é interessante notar o efeito nivelador da tecnologia, já que em termos de necessidades de energia as diferenças entre cenários seriam bastante maiores, ver Tabelas 7.30 e 7.31.

Em termos de consumo específico, aos 19 kWh/m<sup>2</sup>/ano do caso de referência adicionam-se cerca de 3 kWh/m<sup>2</sup>/ano extra no cenário B1. Contudo no cenário B2 o aumento é já de cerca de 7 kWh/m<sup>2</sup>/ano e de cerca de 10 kWh/m<sup>2</sup>/ano nos restantes casos.

Em termos de aumentos relativos, aqui mais fiáveis do que as estimativas em valor absoluto, obtém-se um impacto não muito grande de 15 % em B1, mas já cerca do dobro em B2 (31%) e quase o quádruplo em A1 (57 %) (ver Figura 7.24).

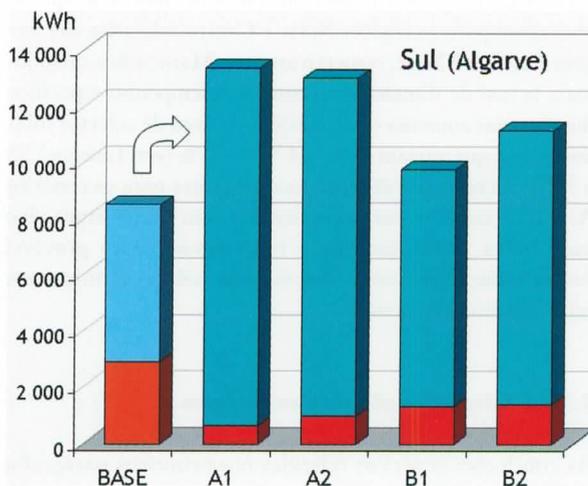


Figura 7.23 – Impactos nos consumos para arrefecimento e aquecimento ambiente em hotéis de 4 estrelas: região Sul (a laranja e encarnado: aquecimento; em tons de azul: arrefecimento)

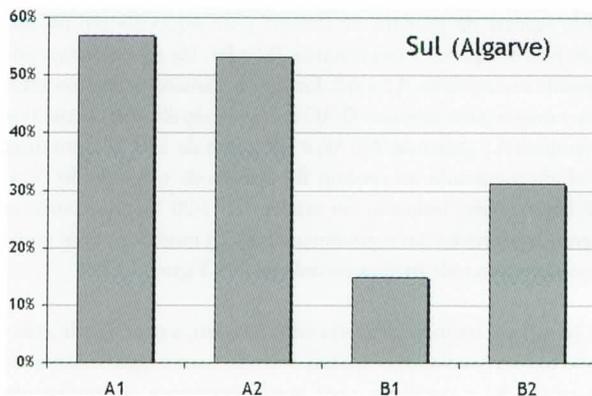


Figura 7.24 – Impactos relativos nos consumos anuais para climatização em hotéis de 4 estrelas: região Sul

**Tabela 7.30 – Impactos nas necessidades de arrefecimento e aquecimento ambiente em hotéis de 4 estrelas: região Sul**

Clima	Aquecimento (kWh)			Arrefecimento (kWh)			Total específico		$\Delta$
	Quartos	Social	Total	Quartos	Social	Total	(kWh)	(kWh/m <sup>2</sup> )	
BASE	5231	577	5808	2 631	5 198	7 829	13 637	31	
A1	1553	48	1601	11 291	12 818	24 109	25 711	59	89 %
A2	2137	103	2240	9 321	11 136	20 457	22 697	52	66 %
B1	3061	235	3296	6 906	9 124	16 030	19 326	44	42 %
B2	3013	201	3214	7 241	9 347	16 588	19 802	45	45 %

**Tabela 7.31 – Impactos nos consumos para arrefecimento e aquecimento ambiente em hotéis de 4 estrelas: região Sul**

Clima	Aquecimento (kWh)			Arrefecimento (kWh)			Total específico		$\Delta$
	Quartos	Social	Total	Quartos	Social	Total	(kWh)	(kWh/m <sup>2</sup> )	
BASE	2615	289	2904	1879	3713	5592	8 496	19	
A1	621	19	641	5943	6746	12 689	3 330	31	57%
A2	929	45	974	5483	6551	12 034	13 007	30	53%
B1	1224	94	1318	3635	4802	8 437	9 755	22	15%
B2	1310	87	1397	4260	5498	9 758	11 155	26	31%

### 7.3.3.5 Climatização de Veículos

Tal como nas regiões Norte e Centro os estudos sobre uso de A/C em veículos terrestres indicam um enorme aumento das necessidades de arrefecimento (ver Tabela 7.32). Enquanto se estima em cerca de 1500 horas de viagem o período em que actualmente seria mais confortável usar o A/C, no futuro esse período varia entre cerca de 2700 horas no cenário B1 e cerca de 4300 horas no cenário A1 (ver Figura 7.25).

**Tabela 7.32 – Impactos nas necessidades e no consumo de ar condicionado em veículos terrestres: região Sul**

	potencial de utilização (horas/ano)	consumo adicional devido a A/C	
		relativo ao consumo actual	relativo ao consumo futuro
BASE	1545	6 %	
A1	4311	43 %	11 %
A2	3894	29 %	11 %
B1	2745	14 %	9 %
B2	3038	10 %	10 %

A energia gasta não é proporcional a este incremento nas necessidades, pois há que ter em conta a maior mobilidade

nos cenários A1 e B1 e a maior posse do automóvel nos cenários A1 e A2. Em termos percentuais, referidos ao consumo no subsector em cada época, a conclusão é que para todos os cenários a energia adicional gasta com A/C passa dos cerca de 6 % actuais para cerca de de 10 % no futuro (dos quais aproximadamente 2 % resultantes de uma maior percentagem de veículos equipados com sistema A/C no futuro).

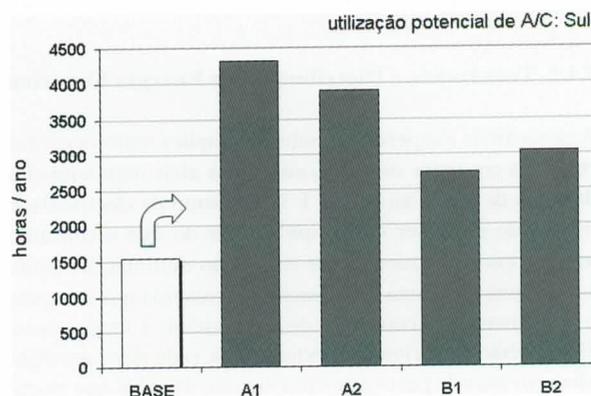


Figura 7.25 – Impactos nas necessidades de ar condicionado em veículos terrestres: região Sul

## 7.4 LACUNAS DE CONHECIMENTO

### 7.4.1 Produção Eléctrica e Controlo de Cheias

Os cenários climáticos futuros do modelo HadCM3 confirmam o panorama de uma precipitação mais intensa na região do Norte da Península Ibérica. Dado ser na região Norte que se concentram os mais importantes sistemas hidroeléctricos de Portugal, é provável que no futuro haja um aumento do potencial hidroeléctrico. Note-se que casos de estudo realizados noutros países indicam que o aumento do potencial hidroeléctrico é mais do que proporcional ao aumento de precipitação. Contudo, as barragens têm também funções de controlo de cheias e portanto há aqui um importante estudo a fazer para saber qual o ponto de equilíbrio entre os vários factores, o que envolve entidades como as companhias produtoras, a REN (Rede Eléctrica Nacional) e a Protecção Civil.

### 7.4.2 Oferta de Energia por Sistemas Eólicos e Oceânicos

Os sistemas eólicos contribuem cada vez mais para a produção de electricidade e no futuro é provável que aumentem de importância, bem como os sistemas oceânicos, estes ainda em fase de prototipagem e desenvolvimento de novas soluções. Para apreciar os impactos das alterações climáticas nestes sistemas são necessários dados de vento bem mais detalhados e fiáveis do que os actualmente fornecidos pelos cenários climáticos futuros gerados em GCM (ver Capítulo 1). Seria necessário utilizar modelos de parques de sistemas eólicos e oceânicos em conjunto com modelos de *downscaling* de meso e microescala para simular detalhadamente as condições geográficas e orográficas do país, o que ultrapassa os recursos disponíveis no Projecto SIAM.

### 7.4.3 Transporte e Distribuição de Energia Eléctrica

A elevação da temperatura ambiente implica maiores perdas resistivas em todos os cabos, estimadas aliás num aumento de cerca de 1,5 % no SIAM I. O consumo de electricidade tem vindo a crescer mais rapidamente do que o consumo total de energia e mesmo que este ritmo diminua, há ainda a tendência para uma *electrificação* da economia que assegura o crescimento dos consumos de electricidade a longo prazo. Numa visão tradicional, a extensão da rede deve acompanhar em grande parte este crescimento, além de que novos centros produtores como os parques eólicos vão necessitar de rede de transporte adicional. Assim, tanto em termos absolutos como relativos, esta estimativa de 1,5% pode ser con-

servadora e as perdas eléctricas virem a ser uma parte ainda mais importante do desperdício de energia nacional.

### 7.4.4 Deslocação dos Picos de Consumo de Energia

Uma muito maior procura de energia para arrefecimento tem consequências para além do simples aumento de consumo anual. De facto, este fenómeno pode deslocar o pico absoluto de consumo de electricidade do Inverno para o Verão, algo que já se começa a verificar por exemplo em Itália, onde a percentagem de habitações e serviços com ar condicionado é muito maior do que actualmente em Portugal. Esta tendência é preocupante dada a grande proporção actual da hidroelectricidade na *mix* de electricidade – cerca de 35 % – que naturalmente pode ser facultada mais no Inverno do que no Verão. Coloca-se assim o problema de ser necessário adicionar ainda mais capacidade ao subsistema produtor termoelectrico e aumentar as importações de combustíveis fósseis e a probabilidade de falhas na distribuição de electricidade.

### 7.4.5 Ritmo Temporal do Aquecimento Global

Um tema que não tem sido suficientemente aprofundado nos estudos até agora realizados é a evolução temporal das alterações climáticas. Este é um ponto muito importante no sector da energia, porque, excepto no caso dos edifícios, os sistemas têm um tempo de vida muito ou bastante inferior à escala de tempo de 50-100 anos em que os estudos de alterações climáticas têm estado a ser feitos.

### 7.4.6 Adaptação

Embora haja várias lacunas no conhecimento quantitativo dos impactos das alterações climáticas, conforme foi referido, os autores consideram que no actual estado dos conhecimentos as questões principais dizem respeito à variedade e amplitude das soluções de adaptação às alterações climáticas. De facto não se pode esquecer que o sector energia é muito intensivo em tecnologia, tanto na oferta como na procura, e por outro lado que os comportamentos individuais e as boas práticas são importantíssimos no lado da procura. Há assim amplo espaço para ensaiar soluções que possam potenciar os vários impactos positivos encontrados, bem como minorar os impactos negativos. Vamos apenas abordar três casos a título de exemplo.

As centrais termoeléctricas necessitam de grandes quantidades de água para refrigeração. Quando as centrais são localizadas junto a rios do Centro e Sul, como o Tejo e Guadiana, essa água pode vir a faltar, especialmente durante o Verão,

ou então o seu impacto em termos biológicos ser considerado inaceitável (rejeição da água a temperatura elevada) nos períodos de caudal mais baixo. Uma estratégia natural de adaptação é a realocização das centrais para estuários ou para a costa. Dado que as centrais têm um ciclo de vida inferior ao tempo característico da evolução das alterações climáticas, tal poderia ser feito quase sem custos adicionais. Dito isto, é evidente que a vertente energética não é a única a considerar no ordenamento do litoral.

Outro exemplo refere-se ao assunto tratado na secção anterior, nomeadamente o transporte e distribuição de electricidade. Em que medida os estudos que se sugeriram poderão ficar obsoletos face às grandes transformações tecnológicas que são possíveis neste campo é algo muito difícil de dizer. Existe de facto uma variedade de soluções tecnológicas que podem minorar muito ou mesmo tornar irrelevante o problema do aumento das perdas resistivas. Refira-se, por exemplo, o despacho local da energia (nomeadamente o consumo da energia perto dos centros produtores tais como centrais hidroeléctricas, eólicas ou fotovoltaicas, em vez da emissão destas directamente para as redes de alta e muito alta tensão), os cabos supercondutores à temperatura ambiente, a transmissão de energia por microondas ou o transporte de energia sob a forma de novos vectores como o hidrogénio.

Um último caso refere-se à climatização em edifícios. Dado que cada edifício dura entre dezenas e centenas de anos, a taxa de renovação do parque de edifícios é bastante baixa (cerca de 3 % por ano) e com tendência para baixar ainda mais com a diminuição do ritmo de aumento da população, e mesmo com a regressão de população prevista, por exemplo, nos cenários A1 e B1. Assim, embora alguns edifícios possam vir a ser construídos e equipados com AVAC utilizando critérios e regulamentos que tenham em conta as alterações climáticas, parte substancial dos edifícios actualmente exis-

tentes irá sofrer os impactos de temperaturas médias mais elevadas. Pergunta-se não apenas como se comportarão, mas também que soluções haverá para controlar esses impactos. As soluções possíveis (ditas de *retrofitting*) incluem opções clássicas como sombreamento e isolamento adicional quando se realizam renovações, mas também opções de alta tecnologia como o uso de materiais de mudança de fase (*phase change materials*) encapsulados em microesferas e incorporados nas argamassas, de tintas fotossensíveis, de janelas inteligentes e domótica em geral e ainda soluções urbanísticas concebidas com o objectivo de reduzir a ilha de calor urbana.

## 7.5 CONCLUSÕES

Confirmou-se nesta segunda fase dos trabalhos do Projecto SIAM que os impactos das alterações climáticas no sector da energia são de sinal variado. Os impactos de carácter positivo consistem principalmente na projecção de um maior potencial hidroeléctrico a norte, e na redução das necessidades de aquecimento de águas (sanitárias, piscinas), com reflexos numa maior atractividade e desempenho dos sistemas solares. Quanto aos impactos de carácter negativo, salienta-se o grande aumento da procura de energia para climatização, tanto em residências como em edifícios de serviços, bem como nos transportes – pese embora a existência de melhores regulamentos e tecnologia no futuro. Uma consequência muito provável destes efeitos será ainda a deslocação do pico de consumo eléctrico do Inverno para o Verão, agravando ainda mais a pressão sobre o sistema eléctrico derivada do aumento de consumos.

Importa salientar que há grandes oportunidades para a adaptação no sector energético, tanto por via dos comportamentos sociais e do bom planeamento, como por meio de desenvolvimentos tecnológicos, tão frequentes e esperançosos neste sector.

## 7.6 REFERÊNCIAS

- Aguiar, R., 1998a, Meteorological Data for Renewable Energies and Rational Use of Energy in Portugal, (Project P-CLIMA), Final Rep. ALTENER Project No. XVII/4.1013/ Z/92-096. INETI-DER, Lisbon.
- Aguiar, R., 1998b, CLIMED – Climatic Synthetic Meteorological Series for the Mediterranean Area, Final Project Reports, EU – DG XII JOULE III Project No. JOR3CT960042, Ed. INETI- DER, Lisbon.
- Aguiar, R., 2003, Sector Energético in Relatório do Projecto «Mitigation Strategies for Portugal» (MISP), F. D. Santos (eds.), Fundação Calouste Gulbenkian.
- Aguiar, R., H. Gonçalves, M. Oliveira e M.J. Reis, 2002, Energy in Climate Change in Portugal. Scenarios, Impacts and Adaptation Measures – SIAM Project, F.D. Santos, K. Forbes and R. Moita (eds), Gradiva, Lisboa.
- Aguiar, R., e M. Oliveira, 2002, Stochastic Typical Reference Years for climate change studies, Proceedings of Tyndall Centre Conference on Climate Change and the Built Environment, Paper 133, Univ. Manchester, Manchester.
- Clarke, J., A. Aaesem, C. Pernot e P. Strachan, 1993, ESP. A program for Building Energy Simulation, ESRU MANUAL U93/1, University of Strathclyde, UK.
- Feenstra, J., F.I. Burton, J.B. Smith and R.S.J. Tol, 1998, handbook on Methods for Climate Change Impact Assessment and Adaptation Strategies, United Nations Environment Programme and Institute for Environmental Studies, Vrije Universiteit, Amsterdam, The Netherlands.
- Gonçalves, H. (Ed.), 1999, Estudo sobre as Condições de Utilização de Energia e de Segurança dos Principais Equipamentos Energéticos na Hotelaria. CCE, PROET, ContaWatt, INETI (DER), ISQ, IPSetúbal (ETS). Relatório de Projecto co-financiado pelo Programa Energia, Direcção-Geral da Energia, Ministério da Economia, Lisboa.
- INE, 1999, Inquérito à Habitação 1998, Instituto Nacional de Estatística, Lisboa.
- IPCC, 2001, Third Assessment Report of the Working Group III: Mitigation, B. Metz e tal. (eds), Cambridge University Press.
- Nakicenovic, N. *et al.*, 2000, Emissions Scenarios. A Special Report of Working Group III of the IPCC, Cambridge University Press, Cambridge.
- RCCTE, 1990, Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios, Decreto-Lei n.º 40/90, de 6 de Fevereiro, Diário da República, I.ª Série.