

Universidade Nova de Lisboa  
Faculdade de Ciências e Tecnologia

# **Potencial de Poupança Energética no Parque Residencial Português**

Ana Filipa Gonçalves da Silva

Dissertação apresentada na Faculdade de Ciências e Tecnologia  
para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia do Ambiente

Orientadora  
Prof. Doutora Júlia Seixas

Lisboa  
2008

# Agradecimentos

Este trabalho contou com o auxílio e dedicação de várias pessoas, de distintas áreas, às quais devo os meus sinceros agradecimentos.

À Professora Doutora Júlia Seixas, minha orientadora, pela sua disponibilidade em ouvir com interesse e ânimo todas as questões, dúvidas e problemas que surgiam durante os meses de trabalho. Pelo seu método de trabalho, e por ter sido uma orientadora paciente e encorajadora.

A toda a equipa de Modelação em Ambiente e Energia do Departamento de Ciências e Engenharia do Ambiente da FCT-UNL. Especificamente:

Ao João Cleto, pelo constante apoio técnico relativo ao *software* TIMES\_PT;

À Sofia Simões, por todo o apoio, auxílio e motivação no decorrer dos meses de trabalho, com forte ênfase na recta final;

À Patrícia Fortes e à Raquel Real, pelo esclarecimento de dúvidas pontuais sobre o modelo.

Não posso deixar de agradecer ao Arquitecto Rui Vera-Cruz, por todo o apoio e gentileza cedidos, na fase de validação da base de dados de isolamento do modelo TIMES\_PT. Mais especificamente no cálculo de parâmetros relacionados com o Regulamento de Características de Comportamento Térmico de Materiais.

Ao Professor Doutor Miguel Amado, pelo esclarecimento de dúvidas sobre isolamento térmico de edifícios.

Ao Doutor Engenheiro Hélder Gonçalves, por me ter recebido a mim e à minha orientadora, no seu local de trabalho, no âmbito de contribuição para a validação das tecnologias de isolamento no modelo TIMES\_PT.

À Doutora Arquitecta Luísa Brotas por me ter recebido no seu local de trabalho e me ter esclarecido quanto às tecnologias de isolamento mais utilizadas em Portugal e na Europa.

Ao Eng. Carlos Pina dos Santos pela explicação, descrição e custos de tecnologias de isolamento. À Dra. Maria Helena Tirone, pelo esclarecimento prestado sobre tecnologias de isolamento de paredes.

Às equipas do centro de documentação da DGGE e do INE.

Ao Álvaro pela ajuda na realização de alguns gráficos presentes na dissertação, e aos meus amigos e colegas que sempre me encorajaram durante estes meses de trabalho.

Aos meus pais que me auxiliaram na revisão da dissertação.

Ao Fernando, que esteve presente, me encorajou e animou ao longo de todo o trabalho.

## Resumo

A Eficiência Energética nos Edifícios, directamente relacionada com a Utilização Racional de Energia, tanto no sector doméstico como nos serviços, é actualmente uma preocupação essencial tendo em consideração a actual tendência de crescimento dos consumos energéticos nos edifícios (3% ao ano), e a necessidade de redução das respectivas emissões de gases de efeito de estufa.

O sector residencial, não sendo o sector português mais consumidor de energia, é aquele em que cada um de nós, cidadãos, pode fazer a diferença na escolha de tecnologias e (nos próprios) comportamentos. Importa, pois, identificar os potenciais de poupança associados ao consumo energético doméstico, de modo a saber quais os pontos de actuação para uma melhor eficiência energética no parque residencial existente em Portugal.

O objectivo desta dissertação é identificar o potencial custo-eficaz de eficiência energética nos edifícios residenciais existentes no ano 2000, tendo em conta soluções energéticas disponíveis no mercado. Pretende-se avaliar este potencial enquadrado por diferentes cenários de restrição de emissões de gases com efeito de estufa (no contexto pós-Quito), sendo utilizado o Modelo TIMES\_PT, da Agência Internacional de Energia. Este estudo pretende também contribuir para um melhor conhecimento do potencial de poupança energética, em particular, no *Retrofit* (isolamento térmico) no sector residencial em Portugal. Adicionalmente, é analisada a resposta do modelo face a reduções no custo de tecnologias de isolamento.

As opções a tomar passam pela substituição de equipamentos por outros mais eficientes, em particular nos usos de iluminação e de electricidade específica. A energia solar apresenta um forte potencial de poupança económica e energética para efeitos de aquecimento de águas sanitárias, e as tecnologias de isolamento apresentam uma relação custo-eficácia muito elevada, uma vez que permitem a poupança de grandes quantidades de energia para aquecimento.

Para 2020 o potencial de poupança energética verificado é muito mais elevado nas vivendas do que nos apartamentos existentes em 2000, sendo de 37% para as vivendas rurais e de 35% nas vivendas urbanas.

## Abstract

Energy Efficiency in Buildings, directly related to Rational Use of Energy, both in domestic and services sector, is nowadays an essential subject taking into account the current trend of growth of energy consumption in buildings (3% annually) and the need to reduce their emission of Greenhouse Gases.

In the Portuguese panorama, the residential sector is not the one who most consumes energy, although it is the sector where each of us, citizens, can make a difference by choosing appropriate technologies and behaviour. So, it becomes important to identify potentials associated with wasted domestic energy, in order to know what are the actions for a better efficiency on the Portuguese existed residential park.

The purpose of this dissertation is to identify the technical and economical potential of energy efficiency in existed residential buildings, taking into account energy solutions available on the market. The aim is to assess different scenarios of restricting emissions of greenhouse gases (in the post-Kyoto period), using the Model TIMES\_PT, from the International Energy Agency. This study also pretends to contribute to a better knowledge about energy savings potential in the portuguese residential sector, particularly in Retrofitting (thermal insulation). Additionally, it's analysed the model behaviour regarding reductions in the costs of the isolation technologies.

People must choose options as the replacement of equipments by more efficient ones, especially in the use of lightning and specific electricity. Solar energy has a strong potential for economic and energy savings for the purpose of water heating, and insulation technologies present a very high cost-effective ratio, which allows large saving amounts of energy for heating.

For 2020, the verified energy saving potential is much higher in single houses than in the apartments built until 2000. According to the most restricted CO<sub>2</sub> emissions scenario, the saving potential in single houses rural it's around 37% and in single houses urban it's around 35%.

## Simbologia e Notações

AC – Ar-condicionado  
AIE – Agência Internacional para a Energia  
APREN – Associação Portuguesa de Energias Renováveis  
AQS – Aquecimento de Águas Sanitárias  
CBT - Calor de Baixa Temperatura  
CE – Comissão Europeia  
CEEETA – Centro de Estudos em Economia da Energia, dos Transportes e do Ambiente  
CH<sub>4</sub> – Metano  
CO – Monóxido de Carbono  
CO<sub>2</sub> – Dióxido de Carbono  
DGGE – Direcção Geral de Geologia e Energia  
DL – Decreto-Lei  
EDP – Energias de Portugal  
EEA – European Environment Agency  
ETSAP – Energy Technology Systems Analysis Programme  
ERSE – Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos  
EURIMA - European Mineral Wool Manufacturers Association Insulation  
EUROSTAT - Gabinete de Estatísticas da União Europeia  
FER – Fontes de Energia Renováveis  
GEE – Gases de Efeito de Estufa  
GEM-E3 - General Equilibrium Model for Energy-Economy-Environment  
GJ – Gijajoule  
GN – Gás natural  
GPL – Gás de petróleo liquefeito  
GW – Gigawatt  
GWh –Gigawatt hora  
INE – Instituto Nacional de Estatística  
INETI - Instituto Nacional de Engenharia e Tecnologia Industrial  
IPP - Impostos sobre produtos petrolíferos  
IVA – Imposto sobre o Valor Acrescentado  
ktep – Quilotonelada equivalente de petróleo  
kW – Quilowatt  
kWh – Quilowatt hora  
MW – Megawatt  
M€ – Milhões de euros  
NEEDS - New Energy Externalities Developments for Sustainability ([www.needs-project.org](http://www.needs-project.org))  
NOx – Óxidos de azoto  
N<sub>2</sub>O – Óxido Nitroso

OCDE - Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Económico  
PIB – Produto Interno Bruto  
PNAC - Programa Nacional para as Alterações Climáticas  
PJ - Petajoule  
P3E - Programa Nacional para a Eficiência Energética nos Edifícios  
RCA – Sectores Residencial, Comercial e Agrícola  
RCCTE – Regulamento das Características de Comportamento Térmico de Edifícios  
RCM – Resolução do Conselho de Ministros  
RSECE – Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização dos Edifícios  
SO<sub>2</sub> – Dióxido de enxofre  
SR – Sem Restrições  
Tep – Tonelada equivalente de petróleo  
TIMES - The Integrated Markal-EFOM System  
UE-15 – União Europeia dos 15 países<sup>1</sup>  
UE-25 – União Europeia dos 25 países<sup>2</sup>  
URE – Utilização Racional de Energia  
VAB – Valor Acrescentado Bruto

---

<sup>1</sup> Bélgica, França, Alemanha, Itália, Luxemburgo, Holanda, Dinamarca, Irlanda, Reino Unido, Grécia, Portugal, Espanha, Áustria, Finlândia e Suécia.

<sup>2</sup> Engloba os países da UE-15 e a Hungria, Estónia, Letónia, Lituânia, Polónia, Eslováquia, República Checa, Chipre e Malta

# Índice de Matérias

<b>Agradecimentos</b> .....	<b>2</b>
<b>Resumo</b> .....	<b>3</b>
<b>Abstract</b> .....	<b>4</b>
<b>Simbologia e Notações</b> .....	<b>5</b>
<b>Índice de Matérias</b> .....	<b>7</b>
<b>Índice de Figuras</b> .....	<b>9</b>
<b>Índice de Quadros</b> .....	<b>12</b>
<b>1 Enquadramento</b> .....	<b>14</b>
<b>2 Eficiência Energética no sector residencial</b> .....	<b>18</b>
2.1 Perfil de Utilização de Energia .....	19
2.1.1 Climatização .....	20
2.1.2 Isolamento Térmico .....	22
2.1.3 Águas Quentes Sanitárias .....	24
2.1.4 Iluminação .....	25
2.1.5 Electricidade Específica .....	26
2.2 Energia Final .....	28
2.3 Utilização Racional de Energia .....	33
2.4 Regulamentação em Vigor .....	34
2.5 Motivações e Objectivo do Trabalho .....	37
<b>3 Metodologia para Avaliar o Potencial de Poupança Energética no Parque Habitacional Existente em 2000</b> .....	<b>40</b>
3.1 Âmbito .....	40
3.2 Modelação do sistema energético com vista à avaliação do potencial de poupança energética no parque habitacional existente em 2000 .....	41
3.2.1 Modelo Times .....	41
3.2.2 Estratégia de Modelação .....	43
3.2.3 Calibração do Modelo para o Ano 2000 .....	56
3.2.4 Caracterização do Ano Base .....	57
3.2.5 Metodologia de Repartição do Consumo e Emissões de Consumos Eléctricos e de Cozinha .....	62

<b>4</b>	<b>Resultados e Discussão .....</b>	<b>64</b>
4.1	Caracterização da Procura de Serviços de Energia no Sector Residencial .....	64
4.2	Potencial de Poupança Energética no Parque Habitacional Existente em 2000 .....	67
4.2.1	Análise do consumo de Energia Final.....	67
4.2.2	Análise do Perfil Tecnológico de todos os usos energéticos existentes no sector residencial.....	71
4.2.3	Poupança Energética .....	78
4.2.4	Análise das emissões de CO <sub>2</sub> .....	79
4.2.5	Análise de Custos e Respectivas Emissões Evitadas .....	83
4.2.6	Discussão dos Resultados.....	86
4.2.7	Indicador de Consumo de Electricidade Específica.....	88
4.3	Análise de Sensibilidade ao Modelo – Isolamento .....	90
4.3.1	Objectivo e Variável em Análise .....	90
4.3.2	Resultados e Discussão.....	90
<b>5</b>	<b>Conclusões .....</b>	<b>94</b>
<b>6</b>	<b>Referências Bibliográficas.....</b>	<b>96</b>
	ANEXOS.....	106



## Índice de Figuras

Figura 1.1. Evolução das importações líquidas nacionais de 1990 a 2005 (DGGE, 1990-2005). ....	14
Figura 1.2. Potência instalada de FER para produção de electricidade em 2005 (DGGE, 2003). ....	15
Figura 1.3. Evolução do Consumo de Energia final em Portugal (DGGE, 1990-2005).....	15
Figura 2.1. Processos de Distribuição de Energia. ....	19
Figura 2.2. Repartição do consumo de electricidade por uso final.....	27
Figura 2.3. Taxa de utilização dos aparelhos eléctricos em 1997 .....	27
Figura 2.4. Evolução do consumo de energia final em Portugal no sector residencial .....	28
Figura 2.5. Consumo de Energia Final por tipo de uso em Portugal (a) e na União Europeia 15 (b). .....	29
Figura 2.6. Consumo de Energia Final nas habitações nacionais por tipo de uso.....	30
Figura 2.7. Consumo de fontes de energia utilizadas para aquecimento em 1990 e em 2000 .....	31
Figura 2.8. Fontes de energia utilizadas para AQS em 1990 e em 2000.....	31
Figura 2.9. Fontes de energia utilizadas para usos de cozinha em 1990 e em 2000 .....	32
Figura 3.1 Estrutura e metodologia de modelação do modelo TIMES_PT (Adaptado de Aguiar et al., 2002).....	42
Figura 3.2. Projecção da procura de aquecimento / arrefecimento / AQS para o sector residencial (Adaptado de Aguiar et al., 2002).....	44
Figura 3.3. Evolução do número total de habitações de 2000 a 2020 existentes em 2000 (a), de apartamentos (b), de vivendas rurais (c), e de vivendas urbanas (d). ....	45
Figura 3.4. Variação dos custos dos combustíveis ao longo dos anos no modelo TIMES_PT. ....	46
Figura 3.5. Curva de oferta das tecnologias de AQS nos apartamentos. ....	47
Figura 3.6. Curva de oferta das tecnologias de aquecimento de espaço nos apartamentos.....	48
Figura 3.7. Curva de oferta das tecnologias de arrefecimento de espaço na totalidade das habitações. ....	49
Figura 3.8. Energia primária consumida no ano 2000 para a produção de electricidade. ....	56
Figura 3.9. Energia final consumida no ano 2000 pelo sector residencial. ....	57
Figura 3.10. Potência Instalada das tecnologias de aquecimento de espaço no ano 2000.....	58
Figura 3.11. Consumo de energia para aquecimento de espaço de espaço pelas tecnologias no ano 2000.....	58
Figura 3.12. Potência Instalada das tecnologias de arrefecimento de espaço no ano 2000. ....	58
Figura 3.13. Consumo de energia para arrefecimento de espaço pelas tecnologias no ano 2000. ..	59
Figura 3.14. Potência Instalada das tecnologias de AQS no ano 2000. ....	59
Figura 3.15. Consumo de energia para AQS pelas tecnologias correspondentes no ano 2000.....	59
Figura 3.16. Capacidade Instalada e consumo das tecnologias de cozinha em 2000.....	60
Figura 3.17. Capacidade Instalada e consumo das tecnologias de iluminação em 2000.....	60
Figura 3.18. Capacidade Instalada e consumo das tecnologias de electricidade específica em 2000. .....	61

Figura 3.19. Consumo de energia final para usos de aquecimento e arrefecimento de espaço e AQS em 2000 segundo o modelo TIMES_PT. ....	61
Figura 3.20. Consumo de energia final para usos de cozinha, iluminação e restante electricidade específica (aparelhos eléctricos) em 2000 segundo o modelo TIMES_PT. ....	62
Figura 4.1. Procura de serviços de energia por tipo de uso no ano base, em 2010 e em 2020 para o parque existente em 2000. ....	64
Figura 4.2. Procura de serviços de energia para o ano de 2010 e 2020 no parque existente em 2000. ....	65
Figura 4.3. Consumo de energia final nos apartamentos. ....	67
Figura 4.4. Consumo de energia final nas vivendas rurais. ....	67
Figura 4.5. Consumo de Energia final nas vivendas urbanas. ....	68
Figura 4.6. Consumo de energia final para fornecimento de calor e frio em todas as casas existentes em 2000. ....	68
Figura 4.7. Consumo de Energia final de processos de electricidade específica e cozinha das habitações existentes em 2000. ....	69
Figura 4.8. Consumo de electricidade específica e cozinha nas casas existentes em 2000. ....	70
Figura 4.9. Consumo de energia final em todo o parque habitacional existente em 2000 para todos os tipos de uso. ....	70
Figura 4.10. Consumo de energia pelas tecnologias de arrefecimento de espaço no ano 2020. ....	71
Figura 4.11. Consumo de energia pelas tecnologias de aquecimento de espaço no ano 2020. ....	72
Figura 4.12. Consumo de energia pelas tecnologias de aquecimento de espaço nos apartamentos em 2020. ....	73
Figura 4.13. Consumo de energia pelas tecnologias de aquecimento de espaço nas vivendas rurais em 2020. ....	73
Figura 4.14. Consumo de energia pelas tecnologias de aquecimento de espaço nas vivendas urbanas em 2020. ....	73
Figura 4.15. Distribuição das tecnologias de isolamento no ano 2020 no cenário sem restrições (a) e no cenário de -20% de emissões deCO <sub>2</sub> (b). ....	74
Figura 4.16. Consumo de energia pelas tecnologias de AQS no ano 2020. ....	74
Figura 4.17. Consumo de energia pelas tecnologias de AQS nos apartamentos em 2020. ....	75
Figura 4.18. Consumo de energia pelas tecnologias de AQS nas vivendas rurais em 2020. ....	75
Figura 4.19. Consumo de energia pelas tecnologias de AQS nas vivendas urbanas em 2020. ....	76
Figura 4.20. Consumo de energia pelas tecnologias de cozinha seleccionadas para o ano 2020. ....	77
Figura 4.21. Consumo de energia pelos tipos de Iluminação consideradas para o ano 2020. ....	77
Figura 4.22. Consumo de energia pelas tecnologias de electricidade específica em 2020. ....	77
Figura 4.23. Poupança de energia verificada para os usos de aquecimento, arrefecimento e AQS. 78	
Figura 4.24. Emissões de CO <sub>2</sub> provenientes de processos de aquecimento e arrefecimento em cada tipo de habitação. ....	79
Figura 4.25. Emissões provenientes de usos de cozinha nas habitações existentes em 2000. ....	80

Figura 4.26. Emissões indirectas provenientes da electricidade dos sectores de cozinha, electricidade específica e iluminação. ....	81
Figura 4.27. Emissões de CO <sub>2</sub> provenientes dos usos de cozinha, iluminação e electricidade específica nas habitações existentes. ....	81
Figura 4.28. Emissões totais de CO <sub>2</sub> do sector residencial, incluindo directas e indirectas. ....	82
Figura 4.29. Emissões de todos os sectores energéticos portugueses.....	82
Figura 4.30. Produção de Electricidade a partir de fontes de energia renováveis e não renováveis.83	
Figura 4.31. Comparação entre a redução de CO <sub>2</sub> e respectivos custos de investimento para os usos de aquecimento e arrefecimento e AQS no ano de 2020. ....	84
Figura 4.32. Comparação entre a redução de CO <sub>2</sub> e respectivos custos de investimento para os usos de cozinha, iluminação e restante electricidade específica.....	85
Figura 4.33. Energia poupada pela utilização das tecnologias de isolamento no cenário Quioto com redução de custos do isolamento, face ao panorama inicial de custos. ....	91
Figura 4.34. Contribuição das tecnologias de isolamento face à energia necessária para a satisfação das necessidades de aquecimento de espaço nos três tipos de habitações. ....	91
Figura 4.35. Tecnologias de isolamento seleccionadas pelo modelo face a reduções dos seus custos, que mais isolamento consideram em: a) apartamentos, b) vivendas rurais, c) vivendas urbanas. ....	92

## Índice de Quadros

Quadro 2.1. Características técnicas e económicas das lâmpadas portuguesas (DGGE, 2004a). ....	25
Quadro 2.2. Edifícios portugueses com tecnologias de aquecimento de espaço (INE,2001b).....	32
Quadro 3.1. Parâmetros de caracterização do parque habitacional português. ....	45
Quadro 3.2. Factor de Aplicabilidade das tecnologias de isolamento. ....	50
Quadro 3.3. Custo final e características dos isolantes de pavimento e de paredes pelo interior. ....	51
Quadro 3.4. Custo final e características dos isolantes de telhado inclinado e de vidros duplos para janelas.....	51
Quadro 3.5. Impostos sobre produtos petrolíferos (ISP) considerados no TIMES_PT em €/PJ.....	53
Quadro 3.6. Factores de Inércia (%) considerados para a validação do modelo TIMES_PT. ....	54
Quadro 3.7. Contribuição de cada fonte de energia primária na produção de electricidade. ....	56
Quadro 3.8. Contribuição das fontes de energia final no consumo de energia total no sector residencial.....	57
Quadro 3.9. Factores de emissão gerados pelo modelo ao longo dos anos para cada cenário. ....	63
Quadro 4.1. Procura de serviços de energia por habitação no ano base, em 2010 e 2020. ....	66
Quadro 4.2. Comparação da procura de serviços de energia gerada pelo modelo com os valores máximos admissíveis segundo o RCCTE. ....	66
Quadro 4.3. Comparação da procura de serviços de energia gerada pelo modelo com os valores máximos admissíveis segundo o CEEETA. ....	66
Quadro 4.4 – Percentagem de poupança de energia nos cenários Quioto, 0% e -20% face ao cenário SR nos anos 2010 e 2020. ....	78
Quadro 4.5. Variação de emissões entre os cenários SR e -20%, em 2010 e 2020 para sectores energéticos. ....	83
Quadro 4.6. Emissões Poupadas e respectivos custos para o ano 2020 .....	84
Quadro 4.7. Resultados para o ano de 2020 para os diferentes cenários, para usos de aquecimento, arrefecimento de espaço e AQS, e para os restantes usos domésticos. ....	86
Quadro 4.8. Área total das habitações permanentes, consumo de electricidade específica total de Portugal e por metro quadrado de habitação permanente.....	88
Quadro 4.9. Consumo de electricidade total do parque habitacional construído até o ano 2000, e por metro quadrado de habitação permanente. ....	89
Quadro 4.10. Custo das tecnologias de isolamento. ....	90

O futuro será verde, ou não será futuro. Esta é a verdade que está no centro do mais premente desafio à humanidade: aprender a viver em harmonia com a Terra numa base verdadeiramente equilibrada.

(Jonathon Porrit, 1991)

# 1 Enquadramento

Portugal é um país fortemente dependente de recursos energéticos internacionais como o petróleo, o carvão e o gás - fontes primárias de energia fóssil - para a satisfação das suas necessidades energéticas. Apesar da crescente contribuição da energia hídrica, dependente da hidraulicidade, e de outras energias renováveis, pode verificar-se que a nossa dependência energética do exterior tem vindo a crescer, uma vez que a produção energética nacional está limitada às fontes de energia renovável.

A percentagem de importações energéticas é bastante elevada tendo atingido 87,2% de toda a energia consumida em Portugal em 2005 (DGGE, 2007a). Analisando a evolução das importações de energia desde 1990 até 2005 verifica-se um aumento de 60% de importações do sector energético (DGGE, 2003). Este facto conduz a uma vulnerabilidade do sistema energético nacional às flutuações dos preços internacionais do petróleo, do carvão, e desde 1997, do gás natural. A Figura 1.1 ilustra a evolução e distribuição das importações líquidas nacionais por fontes de energia primária.

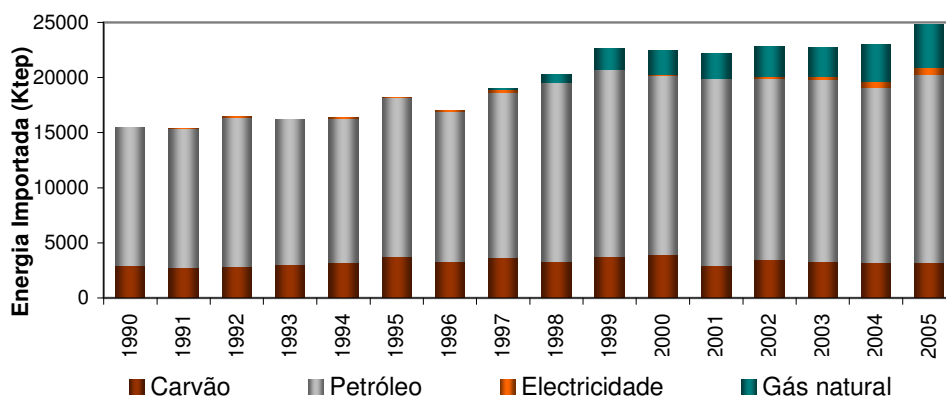


Figura 1.1. Evolução das importações líquidas nacionais de 1990 a 2005 (DGGE, 1990-2005).

Em Portugal, o consumo de energia primária aumentou 6% no período 2000 – 2005 (DGGE, 2007a). O consumo de petróleo tem uma taxa de crescimento semelhante à do consumo total de energia primária, pelo seu papel essencial na estrutura do abastecimento energético. Este representa 59% do consumo total de energia primária em 2005.

A introdução do gás natural em 1997, contribuiu para diversificar a estrutura da oferta de energia e reduzir a dependência exterior em relação ao petróleo. Tem-se registado uma evolução positiva da penetração do gás natural no *mix* energético, representando, em 2005, 14% do total do consumo em energia primária (DGGE, 2007a). Quanto ao consumo de carvão, que contribuiu em 2005 com 12% para o total do consumo de energia primária, verificou-se, face a 2004, uma diminuição de cerca de 98% no consumo de hulha para a indústria cimenteira e um aumento de 3% no consumo das centrais termoeléctricas. Contudo, prevê-se uma redução progressiva do peso do carvão na produção de electricidade, devido à necessidade de redução das emissões de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>).

Em 1973, com o primeiro choque petrolífero e o conseqüente aumento do preço do petróleo, deu-se o primeiro alerta para a população mundial, cujo desenvolvimento tem sido baseado nesta fonte energética, surgindo a preocupação com o consumo de energia (DGGE, 2007b).

Em 2005 foram produzidos 8939 GWh de energia eléctrica a partir de Fontes de Energia Renovável (FER) (DGGE, 2007a). O contributo das energias renováveis no consumo de energia primária, representou em 2005 apenas 13% do total do consumo em energia primária, contra 14% em 2004 (DGGE, 2007a), o que revela a sua elevada dependência das condições climáticas, em particular do potencial hídrico existente. Contudo, tem havido um crescimento acentuado da potência instalada (Figura 1.2) em fontes de energia renovável nos últimos anos para produção de electricidade, tendo-se atingido em 2005, 6376 MW (DGGE, 2007a).

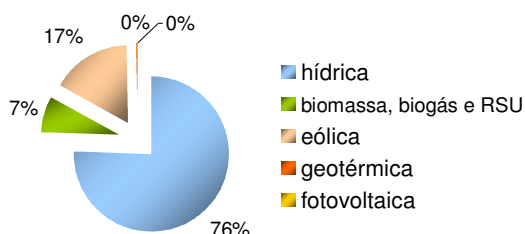


Figura 1.2. Potência instalada de FER para produção de electricidade em 2005 (DGGE, 2003).

O consumo de energia final sofreu um aumento de 12% entre 2000/2005 (DGEE, 2007), devido essencialmente ao aumento dos sectores maiores consumidores de energia - indústria, transportes, serviços e doméstico.

Ao analisarmos um período mais longo, de 15 anos, verifica-se um aumento no consumo total de energia final de 61% (DGGE, 1990-2005), como demonstrado na Figura 1.3.

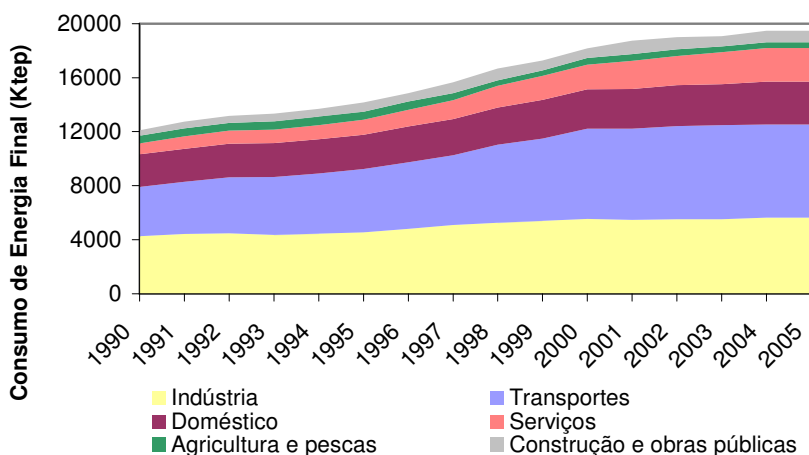


Figura 1.3. Evolução do Consumo de Energia final em Portugal (DGGE, 1990-2005).

Todos os sectores aumentaram o consumo energético excepto o sector da agricultura e pescas que diminuiu o consumo em 27%. O sector dos transportes sofreu um aumento de consumo de energia final na ordem dos 90%, tendo sido este o sector com maior evolução de consumo energético ao longo dos últimos anos. De realçar também que, para este aumento em muito

contribuiu o sector de aviação, com a sua elevada taxa de crescimento, e por outro lado, o sector de viação que foi responsável pelo consumo de 91% de toda a energia final consumida pelo sector dos transportes (Nunes, 2003), sendo que a média da UE-15 (União Europeia dos 15 países) era de 72% (EEA, 2003).

No ano 2000 o sector rodoviário representava 91% do consumo de energia final de todo o sector dos transportes em Portugal. No sector industrial registou-se um aumento de 32%, e o sector residencial/doméstico aumentou o seu consumo energético em 30% no período de tempo considerado.

Considerando o ano de 2005 o sector dos transportes é o mais consumidor seguindo-se o sector industrial, com as contribuições de 35% e 29%, respectivamente. O sector residencial corresponde a 16% do consumo de energia final do país, que, responsável pelo consumo de 3146ktep, constitui uma fatia de consumo superior ao sector dos serviços (DGGE, 2005).

Portugal é um dos países com um nível de intensidade energética muito superior (52%) (RCM, 2003) ao da média europeia, de 120 Tep/milhão de euros (Ministério da Economia e Inovação, 2008), e 47% superior ao de Espanha, em valores de 1999 (RCM, 2003). De 1990 a 2004 este valor aumentou em todos os anos, sendo que entre 1995 e 2002 o aumento foi de 7% (EDP, 2005). A tendência inverteu-se de 2005 a 2007, verificando-se nestes anos uma crescente melhoria (diminuição) no nível de Intensidade Energética do País (Ministério da Economia e Inovação, 2008).

O aumento da intensidade energética nacional é devido à melhoria do nível de vida da população e ao conseqüente aumento do consumo eléctrico e de combustíveis, bem como ao fraco aumento do PIB ao longo dos anos. O sector da oferta de energia é dos mais importantes e dinâmicos para a economia nacional, com influência na competitividade do País e, conseqüentemente, no PIB nacional, sendo responsável por 3,5% a 4% do PIB anual (Santos e Miranda, 2006). O problema da eficiência energética é um problema da oferta e dos produtores, na medida em que “O tecido industrial nacional baseia-se em tecnologias que geram pouco valor por unidade de energia consumida, para a economia nacional” (EDP, 2005). No entanto é também um problema dos consumidores, que em muitos casos ainda não aproveitaram algumas alterações tecnológicas e de modernização de equipamentos produtivos disponíveis no mercado (RCM, 2003).

Nos vinte anos antecedentes ao ano 2000, a população portuguesa cresceu aproximadamente em 170 000 pessoas (Gonçalves et al., 2001). Aliando a este facto o forte aumento do consumo de energia no sector residencial nos últimos anos (DGGE, 2004a), é essencial realizar-se um estudo aprofundado sobre os hábitos energéticos da população portuguesa, de modo a identificar os possíveis pontos de actuação face a um objectivo de poupança energética nas suas habitações, com conseqüências positivas a nível económico. Importa portanto conhecer medidas para melhorar a eficiência energética no parque habitacional português, tendo em conta os custos associados.



O objectivo do presente trabalho é avaliar o potencial de poupança energética do parque residencial português existente no ano 2000, salientando-se:

1. As tecnologias com melhor relação custo-eficácia para os diversos usos numa habitação, nomeadamente as tecnologias de isolamento de espaço;
2. A utilização de fontes de energia renovável.

O trabalho está estruturado em 5 capítulos. O capítulo 2 faz a introdução ao tema da eficiência energética no sector residencial, no qual é feita a análise do consumo de energia útil e final nos vários usos do sector (em Portugal e na Europa), se relaciona este consumo com o balanço de gases de efeito de estufa, e é focada a legislação vigente a nível nacional e europeu.

O capítulo 3 é referente à metodologia utilizada neste trabalho, sendo explicada a ferramenta de modelação utilizada, bem como a caracterização energética do ano base – o ano 2000.

No capítulo 4 é caracterizada a procura de energia no sector residencial e são mostrados e discutidos os resultados obtidos. As conclusões são apresentadas no quinto capítulo.

## 2 Eficiência Energética no sector residencial

A maior parte da nossa vida é passada dentro de edifícios, e passamos cerca de metade do dia nas habitações. Para além disso, a taxa de habitação própria em Portugal é muito elevada, sendo, habitualmente, o maior investimento durante a vida dos portugueses (Aguiar e Santos, 2007). Daí a importância de se tornar as habitações num local onde predomine o conforto e o bem-estar.

Uma análise sobre condições de habitação, com dados do European Statistical Office's European Community Household Panel (ECHP), quanto a níveis de eficiência energética, acessibilidade e satisfação com a mesma em 14 países europeus, revelou que a percentagem de habitações que declaram impossibilidade de serem aquecidas adequadamente é de 17% do total da UE-15, rondando os 4% no Norte da Europa e os 74% em Portugal (Healy, 2003). Os números falam por si, evidenciando a forte lacuna de eficiência energética existente nas habitações portuguesas.

Em Portugal, o sector dos edifícios representa actualmente cerca de 28% do consumo energético final sendo o sector residencial responsável por 16% do consumo de energia final no país, dados de 2004 (Valério, 2007). O aumento do consumo energético no sector dos edifícios é apenas ultrapassado pelo crescimento do consumo energético no sector dos transportes, que representa actualmente cerca de 25% do consumo energético final em Portugal (DGGE, 2005). Uma parte significativa deste consumo pode ser evitada através de melhorias na eficiência energética das habitações portuguesas, fornecendo o mesmo nível de serviços de energia ou mesmo um nível superior (Ürge-Vorsatz e Novikova, 2007).

A melhoria da eficiência energética no sector residencial tem também o potencial de contribuir para a resolução de problemas sociais, principalmente em países de elevadas taxas de mortalidade no Inverno, como Portugal, derivadas de condições térmicas inadequadas no interior das habitações (Clinch e Healy, 2000). De facto, um estudo indica que numa lista de 14 países europeus, Portugal é o país de mais elevada taxa de mortalidade no Inverno, em que se verifica um aumento médio de 28% de mortalidade nesta época face aos restantes períodos do ano (Rezza, 2003).

Este capítulo apresenta a revisão do estado da arte em Portugal e na União Europeia quanto ao sector residencial, no que diz respeito: ao seu perfil de consumo e utilização de energia; ao consumo de energia final por parte de todos os usos energéticos do sector; à Utilização Racional de Energia (URE) e à regulamentação em vigor. São igualmente focados o objectivo da presente dissertação e as motivações da mesma, nomeadamente no impacte do uso de energia na emissão de gases de efeito de estufa.

## 2.1 Perfil de Utilização de Energia

O número de habitações na UE-25 é de cerca de 196 milhões (Norris e Shiels, 2004), dos quais 80% estão concentrados em 7 países (Balaras et al., 2005): Alemanha (18.6%), Itália (13.8%), Reino Unido (13.2%), França (12.7%), Espanha (10.8%), Polónia (6.5%) e Holanda (3.5%).

Os edifícios são responsáveis por cerca de 40 % do consumo energético na Europa (Horta, 2006), representando o sector doméstico 63% do consumo total de energia nos edifícios europeus (Balaras et al., 2005). Prevê-se que esta procura de energia por parte das habitações europeias aumente de 2000 a 2020 em cerca de 0,6% ao ano (Mantzios et al., 2003).

Em termos absolutos, a energia gasta com a iluminação, o aquecimento (incluindo as águas quentes sanitárias (AQS)) e a refrigeração das habitações, locais de trabalho e de lazer, é superior à consumida pelos dois sectores mais consumidores de energia em Portugal - transportes e indústria. Esse consumo aumenta todos os anos à medida que o nível de vida da população vai melhorando, devido, entre outros factores, a uma maior utilização dos sistemas de climatização (CE e DGET, 2003).

Em Portugal, considerando que os edifícios se dividem em edifícios residenciais e de serviços, a fatia de consumo de energia final residencial corresponde a 56% do total de edifícios (DGGE, 2005).

Em termos gerais, o consumo de um apartamento é inferior ao de uma vivenda, sendo que no primeiro caso o consumo situa-se normalmente entre 50 a 60 kWh/m<sup>2</sup>.ano, enquanto que no segundo caso se situa normalmente entre 60 a 80 kWh/m<sup>2</sup>.ano (CEEETA). Um trabalho de Lundström e Gaunt demonstrou que os hábitos dos habitantes têm maior influência no consumo de energia final nas vivendas (Gaunt, 1985 e Lundström, 1986).

A distribuição de energia até às habitações envolve diferentes fases e processos, ao longo dos quais se vai perdendo energia. As perdas registam-se na transformação de energia primária em energia secundária, no transporte da energia até à habitação, e no próprio uso final, dependendo esta última das eficiências das tecnologias de transformação. Este trabalho ir-se-á focar na área da Figura 2.1 identificada com a letra B, sendo nesta cadeia que se devem identificar as ineficiências e os potenciais ganhos de eficiência energética.

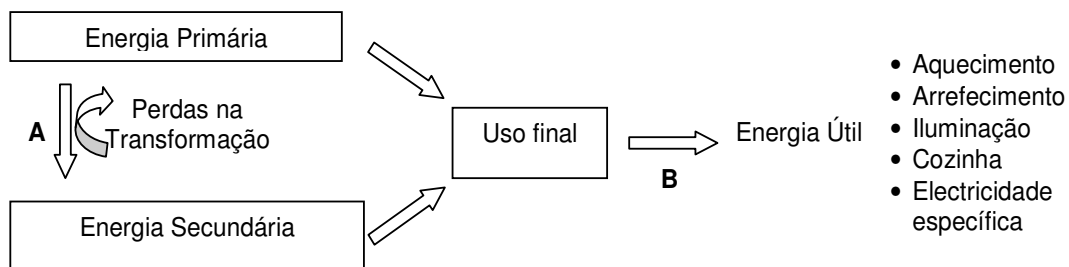


Figura 2.1. Processos de Distribuição de Energia.

Uma vez que o presente trabalho se centra na análise do potencial de poupança energética no parque residencial existente até ao ano 2000, torna-se necessário apresentar e caracterizar as utilizações/usos energéticos existentes neste sector, a nível nacional e a nível europeu. Os usos focados são: a climatização de espaço, o aquecimento de águas sanitárias (AQS), a iluminação e a restante electricidade específica (electrodomésticos).

### **2.1.1 Climatização**

Nos últimos anos, em Portugal têm-se verificado Invernos atípicos, com queda de neve nos dois últimos Invernos em locais pouco habituais, como em Lisboa. Nos meses mais quentes as temperaturas chegam a ultrapassar os 40°C em alguns distritos do país. “O clima é um dos factores que mais afecta o desempenho térmico de um edifício” (Gonçalves, 2004) e, uma vez que o nível de exigência da população relativamente às condições de conforto é cada vez maior, as pessoas não estão dispostas a suportar os inconvenientes do frio ou do calor em excesso. Neste contexto é importante evitar, tanto quanto possível, que as temperaturas internas dos edifícios sejam influenciadas pela temperatura ambiente exterior.

A climatização é a categoria de usos de energia com maior crescimento, dada a conhecida situação de desconforto térmico em grande parte das residências portuguesas (Aguiar e Santos, 2007). Na construção residencial tem-se vindo a reduzir as espessuras das paredes e dos pavimentos, aumentando-se a sua permeabilidade ao calor e conseqüente perda do mesmo durante os meses frios de Inverno (Payà, 1994). No Verão produz-se também o mesmo intercâmbio de calor mas em sentido contrário, sobreaquecendo as habitações, especialmente as que se encontram nos pisos superiores dos edifícios (Payà, 1994). Estas perdas - através do telhado, paredes exteriores, janelas, ventilação ou caves - terão tendência para ser compensadas por gastos excessivos de energia térmica no interior da habitação, dependendo das necessidades de climatização do edifício. Estas perdas de energia variam muito ao longo do dia e consoante a época do ano, e dependem de vários factores (Aydinalp et al., 2003):

- Localização do edifício/clima da área envolvente;
- Radiação solar envolvente;
- Comportamentos dos ocupantes;
- Desempenho térmico da envolvente do edifício.

Por outro lado, quanto menores os valores de coeficientes de transmissão térmica das paredes, telhados e janelas, menores as perdas de energia e conseqüentemente menor será a energia necessária para a climatização. Um outro factor que influencia a necessidade de climatização é a geometria do edifício (dimensão, forma, razão volume/área) pois, habitações com a razão volume/área grande acarretam menores consumos de energia (CEEETA).

Portugal encontra-se dividido em três distintas áreas de Inverno e Verão, tendo em conta o clima (RCCTE, 1990), como se pode verificar no Anexo VI. Quanto mais severo for o clima numa

região, maiores são as exigências térmicas nos edifícios. Este facto afecta os níveis de insolação (ou o coeficiente de transmissão de calor) e também o uso de protecções solares no Verão, como sombras e outras, dependendo da inércia do edifício, da cor e da orientação relativamente à trajectória do Sol (Decreto-Lei n.º 80/2006).

Em Portugal a climatização corresponde a 25% dos consumos de energia dos edifícios, sendo que o aquecimento de espaço no sector residencial representa cerca de 2-3% do consumo total de energia em Portugal (Gonçalves, 2001). De facto, embora Portugal seja considerado um país de condições meteorológicas temperadas (Gonçalves, 2001), verifica-se uma taxa de crescimento de procura de energia para climatização bastante elevada devido a maiores exigências de conforto térmico.

No consumo de energia da UE-15 por tipo de uso, o aquecimento de espaço é responsável por 70% do total consumido (ENERDATA, 2003). Entre 1985 e 2001 a fracção de aquecimento de espaço diminuiu em 2,8% (pois o consumo de electricidade específica aumentou) (ENERDATA, 2003). A título de exemplo, na Alemanha e Holanda o consumo de aquecimento de espaço corresponde a 75% do consumo de energia final (Balaras et al., 2005), enquanto que em Portugal o consumo é apenas de 24% (CEEETA, 2003).

O tipo de climatização mais generalizado no nosso país é o aquecimento. Contudo, o arrefecimento ambiente (ar condicionado) tem vindo a ter um taxa de penetração crescente nos últimos anos, sendo o aumento anual cerca de 8% (CEEETA). O aumento da utilização de equipamentos para arrefecimento do espaço na Europa é preocupante, em termos ambientais, devido ao grande aumento do consumo energético, contribuindo para o excesso das emissões de CO<sub>2</sub> e o conseqüente aquecimento global. Assim, até a energia ser na totalidade proveniente de fontes renováveis, a climatização de espaços deveria ser reservada para as necessidades especiais de climas extremos, e não para melhorar os efeitos de um fraco design climático dos edifícios (Humphreys e Nicol, 2002).

No entanto, é necessário analisar a caracterização das tecnologias disponíveis no mercado de modo a que, em caso de necessidade, se forneça um arrefecimento agradável, económico e com a menor emissão de gases com efeito de estufa (GEE) possível. Um estudo demonstra que, à medida que os edifícios se tornam mais eficientes energeticamente, mais importante é a escolha dos equipamentos de aquecimento utilizados no seu interior, pois a influência relativa destes no balanço energético aumenta (Olofsson e Andersson, 2001).

Na UE-15, a área média de arrefecimento de habitações por habitante no ano 2000 foi de cerca de 3,2m<sup>2</sup>, mas varia significativamente de país para país, alcançando os 6,2m<sup>2</sup> em Espanha e 2,1m<sup>2</sup> em Portugal (Marchio, 2003). Entre os anos 1990 e 2000, o consumo de energia para arrefecimento aumentou 14,6% ao ano, devido ao aumento de exigências de conforto no Verão e à diminuição dos preços dos equipamentos de ar condicionado (Mantzios et al., 2003). Neste contexto, o consumo de energia dos equipamentos de ar condicionado na UE-15 passou de 1,6GWh em 1990, para 11GWh em 1996 (Balaras et al., 2005).

Na Austrália, no estado de Victoria, apesar da existência de novos regulamentos para edifícios novos e da contribuição dos mesmos face ao aumento de GEE, têm sido feitos pequenos esforços para melhorar o comportamento energético das habitações. Isto deve-se por um lado ao aumento do tamanho da área das habitações e também ao aumento do consumo de equipamentos de ar condicionado. Como resposta a este problema o Estado desenvolveu uma estratégia de sustentabilidade para edifícios residenciais, que obriga que as novas habitações construídas após 1 de Julho de 2004, cumprissem os requisitos máximos de eficiência energética (Klinckenberg e Sunikka, 2006).

## **2.1.2 Isolamento Térmico**

O isolamento térmico de edifícios é fundamental para garantir o conforto térmico nas habitações durante todo o ano, principalmente no Inverno, e para tornar a casa mais eficiente em termos energéticos. O que se pretende é manter o ar no interior da habitação a uma temperatura agradável. Para tal é necessário evitar a entrada de correntes de ar quente ou frio, consoante a época do ano, com o auxílio de material isolante.

No Inverno, um local que não esteja bem isolado não é confortável porque ainda que se gaste uma enorme quantidade de energia para compensar as grandes perdas de calor, as paredes dos referidos locais estão sempre frias, o que provoca perda por radiação do corpo humano, com sensação desagradável. A radiação fria pode ter resultados bastante prejudiciais já que as perdas de rendimento no trabalho, devido ao mal-estar produzido atingem 25 a 30% do rendimento inicial (Payà, 1994). Durante a estação quente, um local sem isolamento torna-se excessivamente aquecido, em virtude da ausência de inércia térmica juntamente com a força de transmissão calorífica que se produz através de paredes e coberturas, sobreaquecidas pelos raios solares (Payà, 1994). Para compensar os efeitos da maior permeabilidade térmica das paredes e tectos na construção moderna, e para satisfazer a crescente exigência de conforto, é preciso medir em cada edifício qual o valor calorífico que se perde no Inverno e que entra no Verão, e colocar os isolantes térmicos necessários (Payà, 1994).

Ao retardar o fluxo de calor pela envolvente do edifício, os isolamentos térmicos possuem várias funções (ASHRAE, 1997):

- Conservam a energia devida à redução das perdas de calor;
- Controlam a temperatura superficial de equipamentos e estruturas;
- Ajudam a controlar a temperatura de um processo químico, equipamentos e estruturas;
- Previnem as condensações em superfícies com a temperatura inferior ao ponto de orvalho;
- Reduzem as flutuações térmicas dos espaços, aumentando o conforto térmico.

Ao construir uma casa ou em grandes remodelações, é importante aplicar isolamento térmico nas coberturas (telhado ou terraço), paredes exteriores, pavimentos e envidraçados. O material de isolamento térmico para edifícios deve ser impermeável à água mas permeável ao vapor de água de forma a proteger o edifício e garantir as condições de salubridade (Payà, 1994).

O isolamento térmico quando aplicado pelo exterior tem vantagens de:

- Protecção de paredes contra agentes atmosféricos;
- Ausência de descontinuidade na camada isolante;
- Supressão de pontes térmicas e redução dos riscos de condensação;
- Conservação da inércia térmica das paredes;
- Manutenção das dimensões dos espaços interiores;
- Menores riscos de incêndio e de toxicidade;
- Manutenção da ocupação dos edifícios durante as obras de remodelação (para os casos de recuperação do edifício);
- Eventual melhoria do aspecto exterior dos edifícios, principalmente no caso de reabilitação dos mesmos.

Os inconvenientes do isolamento térmico pelo exterior é o custo ser em regra mais elevado, e possíveis constrangimentos arquitectónicos e de ordem técnica, principalmente no caso de reabilitações.

Para além do aumento do grau de conforto interior, a aplicação de isolantes térmicos nas habitações permite uma redução do consumo de energia e dos respectivos custos associados a equipamentos de aquecimento/arrefecimento. Numa casa termicamente bem isolada, com um ambiente temperado, consegue-se, para além dos aspectos mencionados anteriormente, aumentar o grau de conservação das casas e evitar muitas doenças comuns no nosso país, como doenças reumáticas e respiratórias (AREAM, 2008).

As medidas de eficiência energética a aplicar na envolvente dos edifícios residenciais podem realizar-se através do: 1) reforço da sua protecção térmica; 2) controlo das infiltrações de ar; e 3) recurso a tecnologias solares passivas (DGGE, 2004b).

Na maioria dos países europeus, o isolamento é muito útil no combate às baixas temperaturas, sendo essencial que a escolha e o desenho do material de isolamento se faça de acordo com as necessidades de procura de aquecimento no Inverno (Petersdorff et al., 2004). Um estudo actualizado, concluído em 2001, demonstrou que se têm verificado progressos nas normas de isolamento em diversos países, em particular na Europa central (EURIMA, 2002.).

Dados de 1996 mostram que nos países do Norte da Europa, uma média de 3/5 das habitações possuem vidros duplos, com excepção da Irlanda onde o valor decresce para 1/3 (Healy, 2003). O isolamento das paredes e do pavimento existe respectivamente em 25% e 4% das habitações do Reino Unido, e na Bélgica 1/3 das habitações possuem isolamento no telhado (Balaras et al., 2005). No entanto, na Turquia, as perdas de calor dos edifícios têm um peso

considerável no desperdício de energia total do país, pois, na generalidade, não são utilizadas tecnologias de isolamento nos edifícios existentes e novos (Kaynakli, 2007).

Segundo um estudo da European Mineral Wool Manufacturers Association Insulation (EURIMA), 370 milhões de toneladas de emissões de CO<sub>2</sub> poderiam ser reduzidas por ano, se os níveis de isolamento na Europa fossem satisfatórios, sendo equivalente a retirar 6 milhões de automóveis das ruas de Londres durante 15 anos (EURIMA, 2006a).

### **2.1.3 Águas Quentes Sanitárias**

O aquecimento de águas sanitárias (AQS) juntamente com o aquecimento de espaço, representam mais de metade da energia consumida nas habitações de países industrializados. Na Europa, cerca de 25% do consumo total de energia final é proveniente das AQS (águas quentes sanitárias), e 57% proveniente do aquecimento de espaço das habitações (Chwieduk, 2001).

No sector residencial, na UE-15, 14% do consumo de energia corresponde ao aquecimento de águas (ENERDATA, 2003), e em Portugal este valor é de 17% (CEEETA, 2003). Alguns países do Norte da Europa têm vindo a implementar instrumentos, como taxas e subsídios, com o objectivo de diminuir o consumo de energia para aquecimento de espaço e águas. Em 2002, novas restrições foram tomadas para novos edifícios, e definem que a procura de serviços de energia final deve rondar os 95kWh/m<sup>2</sup>, sendo 25kWh/m<sup>2</sup> relativo a AQS, 60kWh/m<sup>2</sup> a aquecimento e os restantes 10kWh/m<sup>2</sup> para perdas na produção e distribuição energética (Balaras et al., 2005).

Numa habitação, o aquecimento de águas tem vindo a ser maioritariamente realizado através de esquentador, ou caldeira (CEEETA). No entanto, um trabalho realizado pelo Grupo Temático “Solar Térmico Activo” permitiu mostrar que o aquecimento de água com colectores solares é uma forma de aproveitamento para a qual Portugal dispõe de um recurso energético de grande abundância – o Sol – entre os maiores a nível europeu; além de dispor de tecnologia ao mesmo nível da UE-15, e inovadora (Água Quente Solar). Em reuniões promovidas pelo fórum “Energias Renováveis em Portugal” concluiu-se que as principais barreiras ao desenvolvimento de colectores solares térmicos são: a existência de um elevado investimento inicial, falta de conhecimento e credibilidade por parte dos consumidores portugueses, e constrangimentos a nível da construção dos edifícios.

No entanto, segundo um estudo (Água Quente Solar), o potencial máximo de aplicação de sistemas solares térmicos no sector doméstico português até 2010 é superior a 7 milhões de metros quadrados, o que equivale a uma contribuição energética final de 0,583 Ktep/ano e útil de 424 Ktep/ano.

Na Europa as vendas de colectores solares térmicos aumentaram 25% durante o ano 2006, alcançando os 1900 MW, em que os mercados mais dinâmicos foram de França, Reino Unido e Alemanha, com taxas de aumento entre os 40% e os 70% (Hug, 2007).



## 2.1.4 Iluminação

O consumo médio anual em iluminação por unidade de alojamento é de cerca de 12% do consumo de electricidade no sector residencial (DGGE, 2004a), valor superior ao consumido pela média das habitações europeias (Balaras et al., 2005). No entanto, existe um enorme potencial de economias de energia nesta área. As medidas passam pela substituição de lâmpadas existentes por outras de eficiência mais elevada, e pela utilização de luz natural sempre que o for possível, sendo esta última uma medida de poupança muito eficaz e sem qualquer acréscimo de custo para o consumidor.

Para uma correcta iluminação do espaço, é necessário ter em conta as características da divisão, as tarefas a que lhe são destinadas e as fontes de luz disponíveis. É importante não só tornar o sistema de iluminação mais eficiente, mas também proporcionar um menor valor da factura de electricidade consumida pelo sistema, ao mesmo tempo que se melhora a qualidade do lar (Rocky Mountain Institute, 2004). Foram realizados estudos segundo os quais podem ter-se poupanças de energia de 35% com um período de retorno de 4,7 anos apenas através da substituição do tipo de lâmpadas utilizadas (Audin et al., 1997). “A iluminação eficiente implica a utilização de lâmpadas eficientes, instalações eficientes, controlo eficiente e trajecto da luz eficiente” (Rocky Mountain Institute, 2004).

No sector residencial são utilizados dois tipos principais de lâmpadas: incandescentes e fluorescentes. As lâmpadas incandescentes, muito pouco eficientes, evoluíram para as de halogéneo, com uma eficiência ligeiramente superior, e índices de restituição da cor elevados, próximos da luz natural (DGGE, 2004a). As lâmpadas fluorescentes podem ser compactas ou tubulares: as tubulares são mais aplicáveis em cozinhas, enquanto que as fluorescentes compactas são uma boa alternativa em relação às incandescentes.

O Quadro 2.1 representa as características técnicas e económicas das lâmpadas mais utilizadas em Portugal e na Europa.

Quadro 2.1. Características técnicas e económicas das lâmpadas portuguesas (DGGE, 2004a).

Características técnicas	Incandescentes		Fluorescentes	
	Clássica	Halogéneo	Tubular	Compacta
Potência (W)	15-2000	20-2000	15-58	9-23
Eficiência luminosa (lm/w)	8-15	15-25	58-93	55-65
Duração (horas)	1000	2000	12000 a 18000	6000 a 15000
Índice de restituição da cor	90-100	90-100	85 a 98	82-90
Preço (€)	0,5 a 1	2 a 8	3 a 5	5 a 15

Apesar de não apresentarem ruído associado nem interferências magnéticas, é sabido que as lâmpadas incandescentes são muito menos eficientes do que as fluorescentes, e que sofrem de um curto período de vida. Neste contexto, “é justo dizer que eliminar a iluminação incandescente é um objectivo principal de conservação de energia” (Wulfinghoff, 2000). Um sistema de iluminação de baixa eficiência energética, como lâmpadas incandescentes, converte em iluminação cerca de 5 %

da energia utilizada (DGGE, 2004a) sendo a restante convertida em calor. Este facto pode ser responsável por um aumento da utilização de sistemas de arrefecimento de ar como ares condicionados, responsáveis por um consumo considerável de energia, dispensável.

### 2.1.5 Electricidade Específica

A média de consumo de electricidade *per capita* no sector residencial depende do tipo de aparelhos eléctricos existentes e do uso de aparelhos eléctricos de aquecimento de espaço. Em Portugal e Itália os valores rondam os 1000kWh/capita, 2000kWh/capita no Reino Unido e França, e excedem os 4500 kWh/capita em alguns países como a Suécia (EC, 2004).

Numa habitação pode existir uma grande variedade de electrodomésticos: máquinas de lavar roupa e louça, fogão, frigorífico e arca congeladora, aspirador, ferro de engomar, torradeira, máquina de picar, batedeira, faca eléctrica, equipamentos informáticos (computador, impressora), equipamento de som e vídeo (leitor/gravador de cassetes, leitor/gravador de CD e DVD, aparelhagem de som, televisão) e outros equipamentos como serras eléctricas e berbequins.

A potência dos diferentes electrodomésticos pode ser muito variável (desde poucas dezenas de Watts até vários kW). Como o consumo energético depende da potência e do tempo de utilização, os aparelhos que mais contribuem para o consumo energético são geralmente os que têm um maior tempo de utilização, como é o caso dos aparelhos de refrigeração (frigoríficos e arcas congeladoras), que representam mais de 15% do consumo total de energia numa habitação (CEEETA).

Considerando o período de tempo de 1990 a 2000, o consumo de energia para usos de electricidade específica aumentou em 1,9% por ano na UE-15, como resultado de um maior número de electrodomésticos utilizados, e dos respectivos consumos quando estão em modo de *stand-by*, ou modo de espera (Mantzos et al., 2003). No mesmo período de tempo. Para a maioria dos equipamentos eléctricos, a eficiência aumentou em 20-30%, como resultado de melhorias técnicas nos mesmos (ENERDATA, 2003).

A Figura 2.2 representa a repartição dos consumos de electricidade por uso final, em 2002, somando um total de 11087 GWh (DGGE, 2004a). Os electrodomésticos são os principais consumidores de electricidade nas residências dos portugueses, com 43% do total, seguindo-se os equipamentos de climatização (17%), a iluminação (12%), os aparelhos de entretenimento (9%) e o aquecimento eléctrico de água (5%).

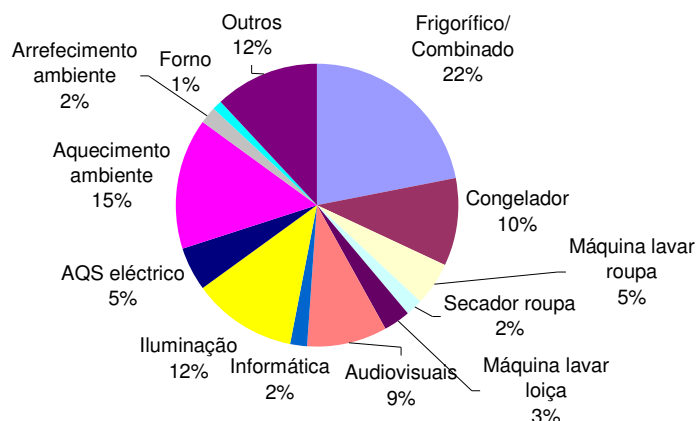


Figura 2.2. Repartição do consumo de electricidade por uso final  
 Fonte dos dados: (DGGE, 2004a).

Representando os equipamentos de frio doméstico 32% do consumo total de todos os equipamentos eléctricos, estes devem ser uma das prioridades para os programas de eficiência energética. Em termos de tendência, prevê-se que os equipamentos informáticos, os secadores de roupa e as máquinas de lavar loiça, ainda com um consumo reduzido, como se pode verificar na Figura 2.2, venham a ter um peso cada vez mais significativo no balanço do consumo energético português (DGGE, 2004a). A Figura 2.3 representa o grau de penetração dos equipamentos de electricidade específica nas habitações portuguesas segundo a mesma publicação da DGGE. Verifica-se que a iluminação, os audiovisuais e os equipamentos de refrigeração dos alimentos apresentam uma taxa de 100%.

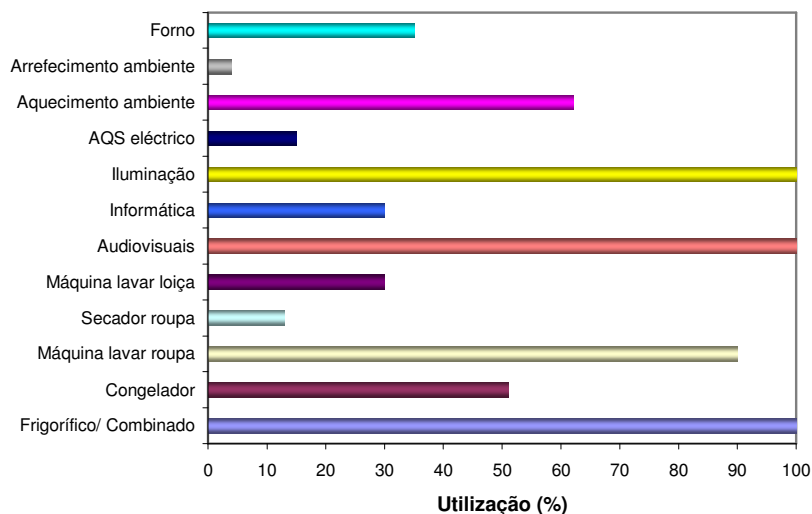


Figura 2.3. Taxa de utilização dos aparelhos eléctricos em 1997  
 Fonte: (INE, 1997).

## 2.2 Energia Final

A energia final consumida no sector residencial corresponde à energia necessária para a satisfação das necessidades energéticas associadas aos usos domésticos como de climatização, de AQS, de cozinha e de electricidade específica. Tem um valor superior à energia usufruída pela população devido às eficiências dos equipamentos de uso final, inferiores a 100%.

O consumo de energia no sector doméstico apresenta um aumento de 32,6% entre 1990 e 2005 (DGGE, 1990-2005), como a Figura 2.4 ilustra. As fontes de energia consumidas são Produtos Petrolíferos, Electricidade, Energias Renováveis e Gás Natural.

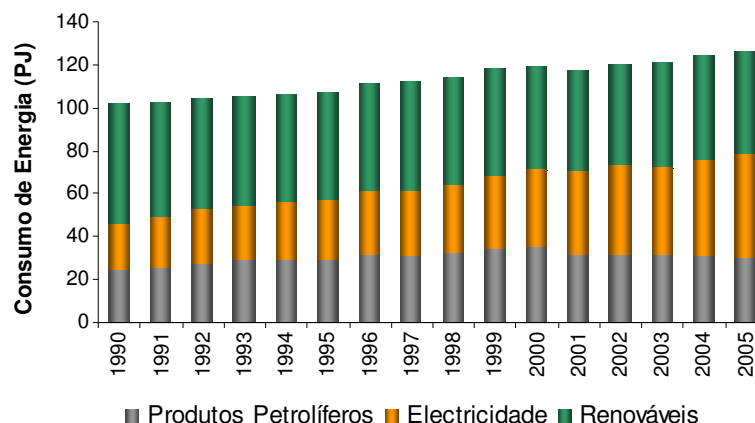


Figura 2.4. Evolução do consumo de energia final em Portugal no sector residencial  
Fonte dos dados: (DGGE, 1990-2005).

A fracção de Gás natural não é visível na figura, uma vez que o consumo associado à mesma é muito inferior ao das restantes fontes. Segundo os balanços energéticos anuais da DGGE, o Gás Natural começou a ser consumido pelos habitantes portugueses em 1997. No entanto em 2005, ano de maior consumo deste combustível até então, de 8000 GJ, a sua contribuição face ao total do consumo energético português era apenas de 0,006%.

Para uma melhor interpretação do consumo de energia por habitante português, é necessário comparar alguns indicadores energéticos entre dois anos distintos, por exemplo, em 1991 e 2001. Verifica-se que, nestes dez anos, o consumo de energia final *per capita* aumentou de 10,4GJ para 11,8PJ (INE, 2002a e DGGE, 1990-2005). Segundo as mesmas fontes, o consumo de electricidade aumentou de 2,4PJ para 3,7PJ. Nestes dez anos verifica-se que o consumo de energia final *per capita* aumentou 13%, sendo o consumo eléctrico responsável por mais de metade desse aumento (54%). De acordo com a Comissão Europeia, o consumo de energia *per capita* no sector residencial apresenta grandes variações entre os países europeus: no Sul da Europa, incluindo-se Portugal, os valores variam entre 1500 e 5000 kWh/capita; de 6000 a 8000 kWh/capita na maioria dos países Nórdicos, e excedem os 8000 kWh/capita nos Escandinavos (EC, 2004). No entanto, é nos países do Sul da Europa – Portugal, Espanha e Grécia – que se tem verificado um ligeiro aumento no consumo de energia *per capita* na última década (Balaras et al., 2005).

As tecnologias que podem consumir gás natural nas habitações são: fogões, esquentadores, lareiras, máquinas de lavar e secar roupa, entre outras (EDP Gás, 2008). Deste modo, a tendência é que a electricidade e o gás butano existentes nos aparelhos mencionados anteriormente, maioritariamente fogões e esquentadores, vão sendo gradualmente substituídos por gás natural.

O consumo de produtos petrolíferos, que inclui petróleo e gasóleo, apresenta uma tendência crescente até ao ano 2000, invertendo a tendência depois até 2005. Além de motivos de ordem ambiental, um dos motivos para este facto pode centrar-se na introdução e estabilização do mercado do gás natural como produtor de calor para o sector residencial, nomeadamente no aquecimento de espaço. Aquecedores a petróleo têm vindo a ser substituídos por outras fontes energéticas como a electricidade e o gás natural.

Verifica-se que o consumo de electricidade tem aumentado anualmente, sem excepção, sendo o crescimento de 122% ao longo dos 15 anos amostrados, a que corresponde um aumento médio anual de 5% (DGGE, 1990-2005). O recurso a lenhas e resíduos vegetais, fontes de energia renovável consideradas no sector residencial, decresceu lentamente desde 1900 a 2000, invertendo-se depois a tendência até 2005. O balanço entre 1990 e 2005 é no entanto negativo, de -12%.

Em 2005 36% dos consumos de energia no sector residencial português foram de electricidade (DGGE, 2005). Esta fonte energética representa um consumo 20% superior ao conjunto de todos os combustíveis fósseis utilizados no sector, e a sua importância tem vindo a crescer continuamente nos últimos anos. O aumento médio anual do consumo de energia eléctrica é superior a 8%, no período de tempo entre 1990 e 2005 (DGGE, 1990-2005).

A Figura 2.5 compara o consumo de energia final *per capita* no sector residencial por tipo de uso, a nível nacional e a nível europeu (Eurostat, 2007). Considera-se a União Europeia dos 15 países (UE-15).

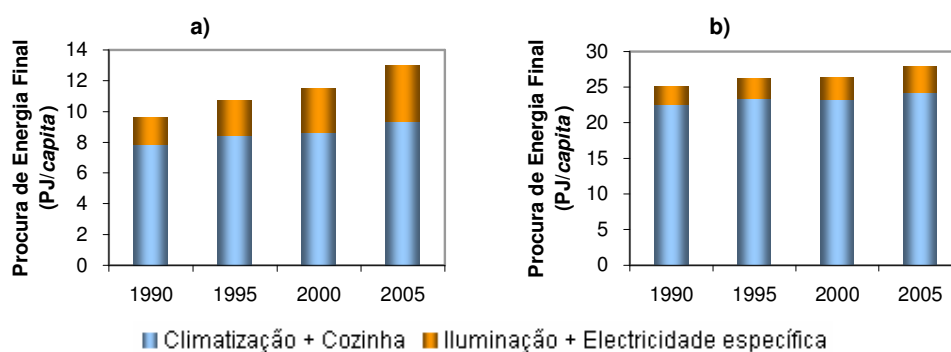


Figura 2.5. Consumo de Energia Final por tipo de uso em Portugal (a) e na União Europeia 15 (b).

Verifica-se uma notória diferença entre o panorama nacional e o europeu de consumo de energia final no sector residencial. Relativamente à energia para climatização, o consumo europeu em 1990 era três vezes superior ao dos portugueses, diminuindo este valor em 2005 para 2,6 vezes. Os motivos da diferença entre Portugal e a média europeia são a forte exigência de energia para aquecimento nos países nórdicos e da Europa Central continuamente durante todo o Inverno

(Anes, 2002), e o elevado nível de desenvolvimento na maioria dos países da UE-15. Relativamente à iluminação e aparelhos eléctricos, em 1990 o consumo por parte da Europa é 50% superior ao português; no entanto em 2005 cada português, em média, consome mais energia para usos eléctricos do que cada europeu.

Nos edifícios portugueses, denotando uma maior exigência e melhoria global das condições de conforto da população, assiste-se a uma evolução crescente do consumo de energia eléctrica por habitante de 112% e de energia para climatização de 19% entre 1990 a 2005 (Eurostat, 2007). No mesmo período de tempo, no panorama europeu, denota-se que os aumentos percentuais são inferiores: de 37% para o consumo de energia para iluminação e aparelhos eléctricos e 7% para climatização.

A título de exemplo, nos edifícios residenciais portugueses, em 1990 consumiam-se 80kWh/alojamento nos usos enunciados na Figura 2.5, enquanto que em 2005 o consumo de energia para estes usos foi de 97kWh/alojamento (Eurostat, 2007), tendo-se verificado um aumento de 20%.

### Consumo de Energia Final por Tipo de Uso

Para se analisar com mais pormenor o consumo de energia final no sector residencial português, é necessário separar o consumo de energia segundo os respectivos usos. Nesta secção será feita a análise da distribuição do consumo de energia final por tipo de uso ao longo dos anos, bem como a comparação entre as fontes de energia consumidas para cada tipo de uso em 1990 e em 2000.

A Figura 2.6 representa o consumo de energia final nas habitações por tipo de uso no período de tempo considerado.

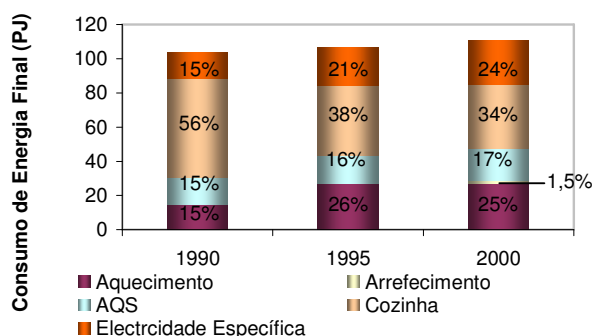


Figura 2.6. Consumo de Energia Final nas habitações nacionais por tipo de uso (Fonte dos dados – CEEETA, 2003).

Verifica-se uma diminuição em 30% do consumo de energia para usos de cozinha apenas entre 1990 e 1995, enquanto o consumo de energia para aquecimento aumenta em 79% e para AQS em 8%. Entre 1995 e 2000 verifica-se um aumento de consumo de energia para arrefecimento em trinta vezes, passando a corresponder a 1,5% do consumo energético total em 2000.

A Figura 2.7 representa a distribuição do consumo final de fontes energéticas para aquecimento ambiente em 1990 e em 2000 em Portugal (CEEETA, 2003).

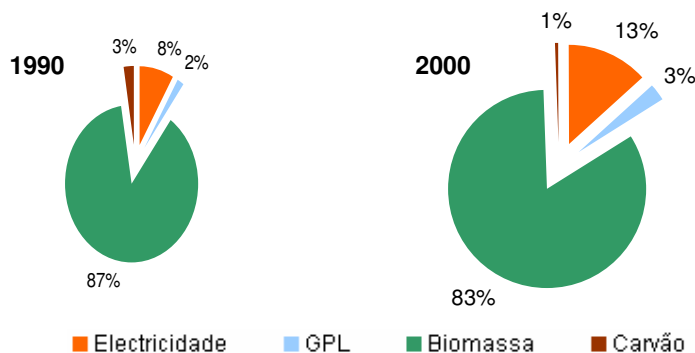


Figura 2.7. Consumo de fontes de energia utilizadas para aquecimento em 1990 e em 2000 (Fonte dos dados: CEEETA, 2003).

O aquecimento ambiente tem sido assegurado sobretudo pela biomassa, como ilustrado na Figura 2.7. Neste intervalo de tempo verifica-se a redução de 2/3 do consumo de carvão e parte da biomassa é substituída por electricidade e por GPL.

No período de tempo compreendido entre 1990 e 2000, todo o arrefecimento de espaço foi realizado através de electricidade, denotando-se um forte aumento no consumo total de energia que aumenta de 5GWh em 1990 para 454GWh em 2000 (CEEETA, 2003).

Quanto ao aquecimento de águas (Figura 2.8) verifica-se que o gás de petróleo liquefeito representa mais de metade do consumo nos dois anos. É de notar uma diminuição de 6% no consumo deste gás de 1990 para 2000, devido ao aumento da utilização de gás natural e gás de cidade, e ao aparecimento de colectores solares térmicos para o aquecimento de águas. Em 2000 1% do consumo de energia para AQS provém de energia solar, inexistente nos consumos energéticos do ano 1990.

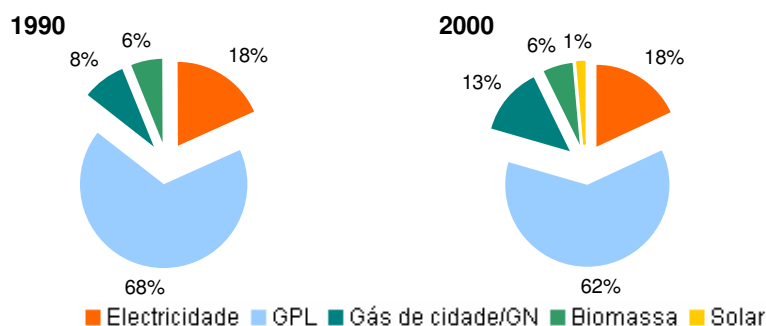


Figura 2.8. Fontes de energia utilizadas para AQS em 1990 e em 2000. (Fonte dos dados: CEEETA, 2003)

Relativamente às utilizações de cozinha, nestes 10 anos, o padrão de consumos sofreu bastantes alterações, como se pode verificar na Figura 2.9. Em 1990 a biomassa representava mais

de 3/4 do consumo total de energia para usos de cozinha, enquanto que em 2000 este valor decresceu muito, devido sobretudo ao forte aumento do consumo de GPL. Ao longo deste período verificou-se também um aumento do consumo de Gás de cidade e Gás natural e de electricidade para este fim.

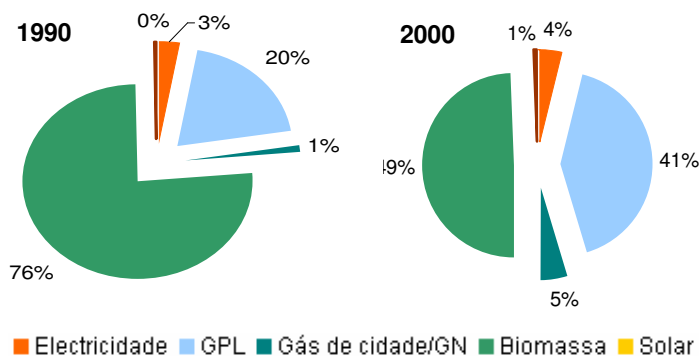


Figura 2.9. Fontes de energia utilizadas para usos de cozinha em 1990 e em 2000 (Fonte dos dados: CEEETA, 2003).

As características do parque tecnológico português nos últimos anos, de aquecimento de espaço, águas, iluminação, isolamento e arrefecimento estão representados no Quadro 2.2, tendo sido apuradas no Censur 2001.

Quadro 2.2. Edifícios portugueses com tecnologias de aquecimento de espaço (INE,2001b).

Aquecimento	Habitações	
	(%)	(Milhares)
Central	5.4	191,8
Lareira	30.9	110,4
Aparelhos fixos (na parede, fogões)	6.7	238,3
Aparelhos móveis (eléctricos, a gás)	35.2	126,1
Nulo	21.9	783,1
Total de Habitações	100	357,9

Verifica-se que os aquecedores móveis são os mais utilizados, seguindo-se as lareiras a biomassa. Apenas 5% das habitações possuem aquecimento central, e 22% não possuem qualquer tipo de aquecimento. No entanto, denotando-se um aumento constante das exigências de conforto térmico ao longo dos anos, será de esperar que o consumo de energia para aquecimento vá aumentando ao longo do tempo, mantendo a tendência registada nos últimos anos (CEEETA, 2003).

A utilização de electricidade em aparelhos de aquecimento de espaço corresponde a 69% de todo o aquecimento (INE, 2001). Relativamente às tecnologias de aquecimento de águas, a percentagem de aparelhos eléctricos decresce para 16%. Quanto aos usos de cozinha, 99,4% das habitações têm fogão e 33% têm micro-ondas (INE, 2001).



## 2.3 Utilização Racional de Energia

O consumo de energia tem custos económicos e ambientais. No entanto, utilizando a energia de forma racional, é possível contribuir para a redução do consumo e importação de combustíveis fósseis, reduzindo os respectivos custos associados, bem como uma menor emissão de poluentes para a atmosfera (AREAM, 2008).

A utilização racional de energia (URE) no sector dos edifícios tem por objectivo racionalizar o consumo de energia nas diversas utilizações finais, que é um conceito estratégico, implementado há vários anos a nível nacional e internacional (Gonçalves et al., 2004). A redução dos custos associados ao consumo de energia é um objectivo individual e colectivo que resulta de uma utilização mais racional dos equipamentos consumidores de energia. Para tal é necessário implementar medidas e acções, algumas simples, que podem traduzir-se em significativas poupanças energéticas e económicas. A URE consiste nesse conjunto de acções e medidas, que têm como objectivo a melhor utilização da energia, ou seja, a obtenção do mesmo serviço energético com menor consumo de energia, e é cada vez mais um factor importante de economia energética e redução de custos. Tendo em conta que os sectores dos serviços e residencial têm um forte potencial de poupança energética (Chwieduk, 2001), importa pois analisar quais os métodos aplicáveis nos edifícios.

As acções de Utilização Racional de Energia nos edifícios podem ser agrupadas em dois grandes grupos: as de natureza comportamental e as de índole tecnológica, que visam aumentar a eficiência energética através da actuação ao nível do controlo de equipamentos e sistemas e da melhoria da eficiência energética de equipamentos.

As medidas de política energética têm um papel importante na implementação de acções de URE, pois criam instrumentos com objectivo de alterar o panorama tecnológico e comportamental vigente. A título de exemplo, no sentido de melhorar a qualidade térmica dos edifícios, foram implementados, no início dos anos noventa, regulamentos térmicos que constituíram uma excelente base de trabalho, e que gradualmente levaram a um interesse crescente na adopção de medidas de conservação de energia (Gonçalves et al., 2004). No período de tempo entre 1990 e 1998, medidas e políticas de eficiência energética na UE-15 proporcionaram um aumento da eficiência energética global destes países em 10% (ENERDATA, 2003), tendo sido de 5% para o sector residencial (Balaras et al., 2005).

O Programa Nacional para a Eficiência Energética nos Edifícios (P3E), promovido pela DGGE e financiado pelo Ministério da Economia, promoveu a revisão dos antigos regulamentos: Regulamentação das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE) e Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios (RCESE). Contribuiu também para o lançamento da certificação energética nos edifícios (Fernandes, 2003). Os projectos de edifícios com preocupações de qualidade energética abrangem o conceito de “Arquitetura Solar Passiva ou Arquitectura Bioclimática”, através da qual se aproveita ao máximo a iluminação e a ventilação naturais (Aguilar, et al., 2007), em detrimento de sistemas de climatização.

Em média, as habitações europeias recentes são 60% mais eficientes energeticamente do que as construídas antes da primeira crise petrolífera, na década de 1970, e consomem 28% menos energia do que as habitações construídas em 1985 (ENERDATA, 2003). Estes factos devem-se à implementação de diferentes instrumentos no Norte da Europa, como taxas e subsídios, com o intuito de reduzir o consumo de energia para aquecimento. No entanto, as melhorias mais significativas foram observadas depois de 1990, devido a medidas restritas de eficiência energética impostas por parte de vários membros da União Europeia em meados da década de 1990. Com estas medidas, as habitações construídas em 2002 consumiam 24% menos energia do que as construídas anteriormente a 1990 (Balaras et al., 2005), tendo sido uma delas a aplicação de metas restritas que obrigavam as habitações a possuírem boas condições de isolamento, através do Thermal Insulation Ordinance (TIO) na Alemanha.

Acções de utilização racional de energia englobam, universalmente, medidas de isolamento da envolvente dos edifícios, substituição de tecnologias de climatização, iluminação (substituição de lâmpadas incandescentes por fluorescentes compactas) e AQS, e preocupações de arquitectura bioclimática (Chwieduk, 2001). As acções de natureza comportamental poderão centrar-se na poupança de: água quente, (evitando duchas e banhos prolongados), electricidade para climatização (utilizando mais agasalhos em detrimento de aquecedores no Inverno), gás (mantendo as panelas tapadas para evitar desperdício de energia na preparação de alimentos), electricidade (regulando a temperatura do frigorífico e utilizando as máquinas de lavar roupa e loiça apenas com a carga completa), entre outros comportamentos.

Na secção seguinte – 2.4 – estão enunciadas as principais estratégias políticas e regulamentações, a nível nacional e europeu, para que se torne possível uma utilização racional de energia.

## **2.4 Regulamentação em Vigor**

Como mencionado anteriormente, as preocupações de índole energética nasceram com a primeira crise petrolífera em 1973, e em 1979 os governos deram início a uma intensiva promoção de conservação energética (Aydinalp et al., 2001). Nomeadamente em 1997 foi ratificado o Protocolo de Quioto e as preocupações com a etiquetagem energética de fornos eléctricos para uso doméstico vieram a ser incluídas na Directiva Quadro Europeia 92/75/CEE (DGGE, 2004a), aplicada pela Directiva 2002/40/CE.

A Directiva 2002/91/CE, Directiva Comunitária sobre o desempenho energético dos edifícios, foi publicada em Janeiro de 2003, e obrigou os estados membros a transpô-la até Janeiro de 2006 (Maldonado, 2005) através de leis e regulamentos. Esta Directiva, tinha por objectivo aumentar a Eficiência Energética nos Edifícios, reduzir a dependência externa da União Europeia e as emissões de GEE, protegendo e informando a população quanto ao tema. Também estabelece os requisitos mínimos para os novos edifícios, bem como para reabilitação dos existentes com mais de 1000m<sup>2</sup>. Introduce a certificação obrigatória dos edifícios, das caldeiras e sistemas de aquecimento com mais de 15kW e dos sistemas de ar condicionado em edifícios com mais de 12kW instalados, exigindo

qualificação profissional adequada por parte dos técnicos de certificação e auditorias. No entanto, a exigência de uma área mínima de 1000m<sup>2</sup> para que se aplique a Directiva para os edifícios existentes, é ainda um valor muito elevado, mais caracterizador de edifícios de serviços (Balaras et al., 2005).

A EU apresentou, no início de 2007, uma nova política da energia, como forma de compromisso expresso que visa uma economia de baixo consumo de energia mais segura, mais competitiva e mais duradoura. Neste contexto, a política europeia de energia assenta em dois pilares: numa política de energia para a Europa e no Livro Verde: Estratégia Europeia para uma energia sustentável, competitiva e segura.

Alguns dos elementos que participam na elaboração da política de energia são: a Estratégia sobre as alterações climáticas adoptando medidas correctivas até 2020 e, posteriormente, a Estratégia a favor do desenvolvimento sustentável. O Livro Verde promoveu um período de consulta pública destinada a lançar uma série de acções concretas no domínio da energia. O Conselho Europeu da Primavera de 2006 teve como ponto de partida as recomendações do Livro Verde para a construção de uma nova política energética europeia, cujos domínios de acção são (Maldonado, 2005):

- Energia para o crescimento e o emprego: realizar o mercado interno do gás e da electricidade;
- Segurança do aprovisionamento: desenvolver a solidariedade entre os Estados-Membros;
- Um cabaz energético mais sustentável, eficiente e diversificado;
- A UE na primeira linha na luta contra as alterações climáticas.

A nível nacional, deve referir-se que anteriormente a 1990 não existiam requisitos térmicos de edificação em Portugal (Pinto, 2007). No entanto, em 1990 foi publicado o Decreto-Lei n.º 40/90, de 6 de Fevereiro – que aprova o Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE), que veio a ser posteriormente revisto. Em 1998 foi aprovado o Regulamento dos Sistemas Energéticos e de Climatização dos Edifícios (RSECE) pelo Decreto-Lei n.º 119/98, de 7 de Maio – tendo sido também posteriormente alvo de revisão.

A Resolução do Conselho de Ministros n.º 169/2005 (RCM 169/2005) de 24 de Outubro, definiu a Estratégia Nacional para a Energia, visando o aumento da eficiência energética, a redução de emissões de CO<sub>2</sub> e uma maior utilização de fontes de energias renováveis (Joyce, 2006). Com a adesão ao Protocolo de Quioto, Portugal assumiu, face à UE, uma contenção no crescimento das suas emissões para o período de 2008-2012, de um máximo de mais 27%, relativamente a 1990. No entanto, será necessário intensificar estes esforços - de redução da intensidade carbónica da economia portuguesa - dado que as emissões ultrapassavam, já na altura, este limite. Portugal assumiu, assim, o compromisso de produzir, em 2010, 39% da sua electricidade final com origem em fontes de energia renováveis, e, em Fevereiro do corrente ano (2008) a Associação Portuguesa de Energias Renováveis (APREN) afirmou que em 2007 39,7% de produção de electricidade foi a

partir de FER. Ainda, nesta Resolução, RCM nº169/2005, foi assumida a transposição para Portugal da Directiva Comunitária 2002/91/CE sobre a eficiência energética nos edifícios.

Esta Directiva foi transposta para a ordem jurídica nacional através de um pacote legislativo composto por três Decretos-Leis (Fernandes, 2003), em que dois deles procederam à revisão dos decretos na altura em vigor (ADENE):

1. O Decreto-Lei n.º 78/2006 de 4 de Abril, implementa o Sistema Nacional de Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior nos Edifícios (SCE), tem por objectivo:

- Assegurar a aplicação regulamentar, nomeadamente no que respeita às condições de eficiência energética, à utilização de sistemas de energias renováveis e, ainda, às condições de garantia do ar interior, de acordo com as exigências e disposições contidas no RCCTE e no RSECE;
- Certificar o desempenho energético e a qualidade do ar interior nos edifícios;
- Identificar as medidas correctivas ou de melhoria de desempenho aplicáveis aos edifícios e respectivos sistemas energéticos, nomeadamente caldeiras e equipamentos de ar condicionado, quer no que respeita ao desempenho energético, quer no que respeita à qualidade do ar interior.

2. O Decreto-Lei n.º 79/2006 de 4 Abril, aprova o Regulamento dos Sistemas Energéticos e de Climatização dos Edifícios (RSECE), que veio substituir o DL119/98, e estabelece:

- As condições a observar no projecto de novos sistemas de climatização, nomeadamente os requisitos em termos de conforto térmico, renovação, tratamento e qualidade do ar interior, que devem ser assegurados em condições de eficiência energética através da selecção adequada de equipamentos e a sua organização em sistemas; Os limites máximos de consumo de energia nos grandes edifícios de serviços existentes e para todo o edifício, em particular, para a climatização, previsíveis sob condições nominais de funcionamento para edifícios novos ou para grandes intervenções de reabilitação de edifícios existentes que venham a ter novos sistemas de climatização abrangidos pelo presente Regulamento, bem como os limites de potência aplicáveis aos sistemas de climatização a instalar nesses edifícios;
- Os termos de concepção, da instalação e do estabelecimento das condições de manutenção a que devem obedecer os sistemas de climatização, para garantia de qualidade e segurança durante o seu funcionamento normal, incluindo os requisitos, em termos de formação profissional, a que devem obedecer os principais intervenientes e a observância dos princípios da

utilização de materiais e tecnologias adequados em todos os sistemas energéticos do edifício, na óptica da sustentabilidade ambiental;

- As condições de monitorização e de auditoria de funcionamento dos edifícios em termos dos consumos de energia e da qualidade do ar interior.

3. O Decreto-Lei n.º 80/2006 de 4 Abril, aprova o Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE), substitui o DL 40/90, que indica as regras a observar no projecto de todos os edifícios de habitação e dos edifícios de serviços sem sistemas de climatização centralizados por forma a que :

- As exigências de conforto térmico, de aquecimento, arrefecimento ou de ventilação para garantia de qualidade do ar no interior dos edifícios, bem como as necessidades de água quente sanitária, possam vir a ser satisfeitas sem dispêndio excessivo de energia;
- Sejam minimizadas as situações patológicas nos elementos de construção provocadas pela ocorrência de condensações superficiais ou internas, com potencial impacte negativo na durabilidade dos elementos de construção e na qualidade do ar interior.

Recentemente, a 22 de Fevereiro de 2008, foi anunciado o PNAEE, Plano Nacional de Acção para a Eficiência Energética, composto por 12 programas que abrangem, além do sector doméstico, os sectores dos serviços e indústria, transportes, mobilidade urbana e construção. Entre as medidas propostas para o sector residencial, destacam-se a formação de uma linha de crédito bonificado com 250 milhões de euros/ano para investimentos em medidas de eficiência energética, sobretudo na área da reabilitação urbana, com o objectivo de aumentar a classe energética dos lares portugueses. Outra das medidas centra-se na promoção de Água Quente Solar nos edifícios, sendo o objectivo que 1 em cada 15 edifícios possuam esta tecnologia. O plano vai estar em consulta pública até 21 de Março, sendo depois convertido numa resolução do Conselho de Ministros.

## **2.5 Motivações e Objectivo do Trabalho**

O aquecimento global observado nos últimos 50 anos tem a sua origem nas actividades humanas (IPCC, 2007). De facto, “a perturbação de equilíbrios entre os reservatórios de Carbono e Azoto na Atmosfera, Biosfera, Litosfera e Hidrosfera leva a um acumular dos gases com efeito de estufa (GEE) na Atmosfera” (Aguiar e Santos, 2007).

Segundo o Painel Intergovernamental para as Alterações Climáticas (IPCC, 2007), durante as próximas duas décadas prevê-se um aumento da temperatura do Planeta em 0,2°C por década, e mesmo que as concentrações dos GEE e aerossóis se mantivessem constantes aos níveis de 2000, este crescimento continuaria com um aumento de temperatura, de 0,1°C/década.

Neste contexto, as alterações climáticas têm impactes na oferta de energia, nomeadamente: na redução da eficiência termodinâmica de motores e turbinas sob temperaturas ambientes mais elevadas; na disponibilidade de água para arrefecimento em centrais térmicas; no efeito da subida do nível do mar em estruturas perto da costa; em eventos extremos nos sistemas de abastecimento de energia; na alteração do potencial de recursos energéticos renováveis e em maiores perdas no transporte de energia eléctrica (Santos e Miranda, 2006). Por outro lado, o aumento da disponibilidade de energia durante os meses de Verão poderá ter um impacto positivo no desempenho dos sistemas solares fotovoltaicos e térmicos. Adicionalmente, os sistemas de digestão anaeróbia e o potencial hidroeléctrico de alguns rios portugueses, podem aumentar (Santos e Miranda, 2006) face a um aumento das temperaturas no Verão e de pluviosidade no Inverno. A curto ou médio prazo os impactes resultantes do efeito de estufa podem ser benéficos, no entanto prevê-se que os impactes negativos ultrapassarão em muito os positivos (Aguar e Santos, 2007).

O consumo de energia está na origem de 80% das emissões de gases com efeito de estufa na UE-25 (CCE, 2007) pois a maior fonte emissora destes gases é a queima de combustíveis fósseis, muito utilizada no sector energético europeu. O consumo de energia nos edifícios, tendo em conta os diversos usos, tem associado uma geração de poluição com gases de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), metano ( $\text{CH}_4$ ), partículas, óxidos de azoto ( $\text{NO}_x$ ), óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ) e dióxido de enxofre ( $\text{SO}_2$ ), sendo o  $\text{CO}_2$  o gás que contribui com uma maior fatia – 82% – da totalidade de emissões da UE-25 em 2002 (Balaras et al., 2005).

Tendo em conta a mesma amostra, os edifícios são o segundo sector mais emissor de  $\text{CO}_2$ , responsável por 33%, a seguir à indústria (Price et al., 2006). As emissões provenientes do sector residencial europeu, considerando em conjunto o consumo de energia eléctrica e térmica, correspondem a 1/3 da totalidade de emissões energéticas de  $\text{CO}_2$  (Houghton et al., 2001).

Em média, entre 1980 e 1990, as emissões de  $\text{CO}_2$  nos edifícios aumentaram 1,7% por ano, com taxas de crescimento quatro vezes superiores em alguns países desenvolvidos (Balaras et al., 2005), sendo que as emissões provenientes do sector residencial da UE-15 correspondem a 77% das emissões da totalidade de edifícios (Petersdorff et al., 2004).

Com as alterações climáticas serão de esperar modificações nos padrões de consumo de energia para climatização, pois a procura de energia para aquecimento terá tendência para diminuir, enquanto as necessidades de energia para arrefecimento tenderão a aumentar. Deste modo, reduzir o consumo energético no sector dos edifícios é um factor indispensável para qualquer país que pretenda ter uma actuação energética e ambiental sustentável. De facto, está previsto que a eficiência energética seja um ponto-chave rumo ao cumprimento de acordos de redução de emissões de  $\text{CO}_2$  como o Protocolo de Quioto (Balaras et al., 2005). Segundo um estudo realizado pela ECOFYS, empresa de pesquisa e consultadoria em energias renováveis, mais de 50% da energia utilizada nos edifícios poderia ser reduzida, a que corresponderia uma poupança anual de 400 milhões de toneladas de  $\text{CO}_2$ , ou seja, quase a totalidade do acordo realizado em Quioto (Petersdorff et al., 2005).

No que diz respeito ao panorama nacional, o sector residencial consome anualmente cerca de 12 % do consumo de energia total em Portugal (DGGE, 2005), com predominância para os combustíveis fósseis. Este sector representa assim um papel muito importante na mitigação do CO<sub>2</sub> (Hens et al., 2000).

Com os factores mencionados acima, quer a nível das emissões, quer a nível das alterações climáticas, torna-se imprescindível “prever” e regulamentar determinadas directrizes, de modo a criar barreiras que impeçam o aumento exponencial dos factores agressivos para a sustentabilidade do meio ambiente.

Uma parte significativa deste aumento pode ser evitado através de melhorias na eficiência energética dos edifícios, particularmente no sector residencial, podendo fornecer-se o mesmo nível de serviços de energia ou mesmo um nível superior (Ürge-Vorsatz e tal., 2007), aos utilizadores, com a correspondente redução das emissões de GEE.

Assim, pretende-se com este trabalho avaliar o potencial de poupança de energia nas habitações portuguesas construídas até ao ano 2000, considerando igualmente o impacte na redução das emissões de GEE. Para tal, é necessário identificar o potencial técnico-económico de eficiência energética nos edifícios residenciais existentes, tendo em conta soluções disponíveis no mercado no domínio do sector energético.

## **3 Metodologia para Avaliar o Potencial de Poupança Energética no Parque Habitacional Existente em 2000**

### **3.1 Âmbito**

Como foi dito anteriormente, este trabalho centra-se no parque residencial português e foca-se, exclusivamente, nas habitações portuguesas existentes no ano 2000. Tendo em conta o grande número de edifícios existentes e o tempo de vida dos mesmos ser bastante elevado (50 a 100 anos ou mais) facilmente se conclui que o potencial de melhoria do desempenho energético neste sector, a médio e longo prazo, é muito elevado (Balaras et al., 2005).

As habitações são divididas em apartamentos (46,2% da totalidade), vivendas rurais (38,3%) e vivendas urbanas (15,4%). Esta distribuição percentual foi calculada sabendo o número e localização de cada tipo de habitação – apartamentos e vivendas – existente nas 4241 freguesias portuguesas (INE, 2001a). Posteriormente foram somados todos os apartamentos, e divididas as vivendas consoante a sua localização rural ou urbana.

As habitações portuguesas existentes no ano 2000 totalizavam 5 046 744 em 2000 (INE, 2001a), sendo cerca de 18% reservadas para usos sazonais ou secundários, e 11% para habitações de férias (INE, 2001a). No âmbito do objectivo do presente trabalho contabilizar-se-á apenas o número de habitações de uso permanente, ou seja, 70,7% das habitações totais (INE, 2001a). Este pressuposto justifica-se pelo facto de, na generalidade, independentemente de terem uma ou mais habitações, os habitantes portugueses consumirem energia em apenas uma casa de cada vez.

Este tipo de estudos são úteis a curto prazo (5 a 15 anos), mas não no médio e longo prazo, uma vez que a situação demográfica, sócio-económica, tecnológica, de governação, e de situação geopolítica alterar-se-á (Aguiar e Santos, 2007). Por este motivo o horizonte de análise deste trabalho é o ano 2020, embora a ferramenta de modelação considere o período até 2030. Em termos de análise, focar-se-á os anos 2000, 2010 e 2020.

O estudo compara as tecnologias de fornecimento de energia no sector residencial, centrando-se nos usos de climatização de espaço (aquecimento e arrefecimento), aquecimento de águas sanitárias, usos de cozinha e electricidade específica, na qual se inclui a iluminação e outros aparelhos eléctricos. Serão focadas tecnologias de isolamento do espaço, que competem com as tecnologias convencionais de aquecimento de espaço.



## 3.2 Modelação do sistema energético com vista à avaliação do potencial de poupança energética no parque habitacional existente em 2000

### 3.2.1 Modelo Times

O modelo TIMES\_PT resulta da implementação para Portugal do gerador de modelos de optimização de economia – energia – ambiente de base tecnológica TIMES<sup>1</sup>, desenvolvido pela ETSAP<sup>2</sup> da Agência Internacional para a Energia (AIE). A estrutura genérica do TIMES pode ser adaptada por cada utilizador para simular um sistema energético específico, à escala local, nacional ou multi-regional. O TIMES\_PT foi inicialmente desenvolvido no âmbito do projecto europeu NEEDS (New Energy Externalities Developments for Sustainability). Em 2007 o TIMES\_PT integrou um modelo TIMES pan-europeu que será utilizado para a estimativa dos custos totais europeus (incluindo externalidades) da produção e consumo de energia.

Os modelos TIMES requerem a especificação dos seguintes fluxos de entrada (inputs) exógenas: *procura de serviços de energia* (ex: iluminação no sector residencial); *características técnico-económicas das tecnologias existentes* no ano base, assim como das *tecnologias futuras* (ex: eficiência, rácio fluxo de entrada/fluxo de saída (output), custos de investimento, operação e manutenção e taxa de actualização) e *fontes de energia primária disponíveis actualmente e no futuro*. O modelo considera esta informação para computar para cada ano de análise a combinação óptima de tecnologias que permite satisfazer a procura de serviços de energia ao menor custo para o sistema. Para tal, considera em simultâneo opções de investimento e operação de determinadas tecnologias, fontes de energia primária e importações e exportações de energia (Loulou, et al., 2005).

No TIMES, as tecnologias e combustíveis são explicitamente representadas para os diferentes sectores de actividade económica. O modelo TIMES\_PT, implementado pelos autores<sup>3</sup> para 2000 a 2030, considera os seguintes sectores do sistema energético nacional: extracção e preparação de energia primária; geração de electricidade; indústria (estão desagregados os sub-sectores cimento, vidro, cerâmica, aço, química, pasta de papel e papel, cal e outras industriais); residencial; terciário; agricultura e transportes.

A Figura 3.1 representa a estrutura do modelo TIMES\_PT e a sua metodologia de modelação, bem como os principais inputs e outputs.

---

<sup>1</sup> TIMES é um acrónimo para The Integrated Markal-EFOM System. Tanto o Markal - MARKet al.location e o EFOM - Energy Flow Optimisation Model são modelos energéticos de base tecnológica desenvolvidos pela AIE nas décadas de 80 e 70, respectivamente.

<sup>2</sup> ETSAP – Energy Technology Systems Analysis Programme da Agência Internacional da Energia. <http://www.etsap.org/index.asp>

<sup>3</sup> A equipa do projecto NEEDS é responsável pela estrutura do modelo e base de dados de tecnologias futuras (a partir do ano base). Os autores são responsáveis pela informação do ano base, pela validação da base de dados de tecnologias futuras e pela calibração e validação do modelo nacional, para além de diversos ajustes na estrutura do modelo que se tornaram necessários para reflectir as especificidades nacionais.

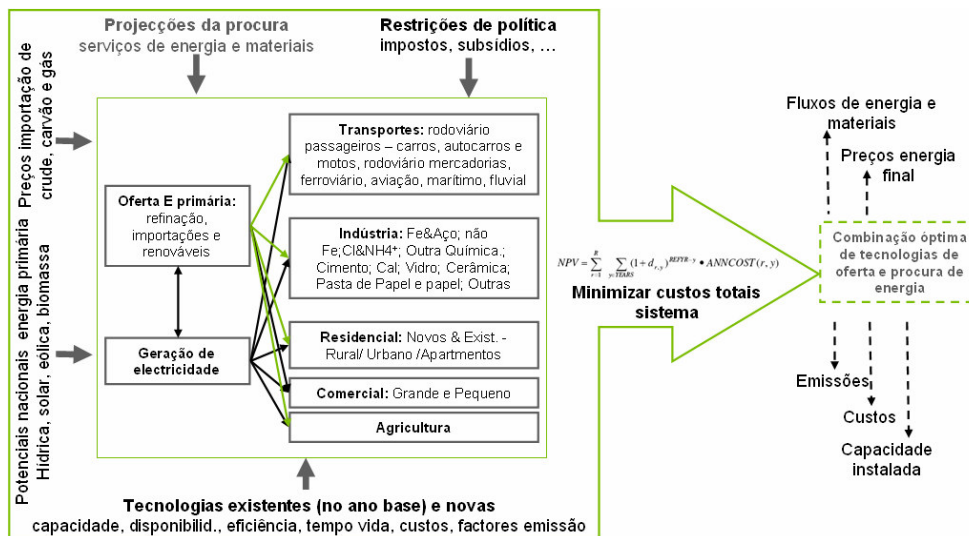


Figura 3.1 Estrutura e metodologia de modelação do modelo TIMES\_PT (Adaptado de Aguiar et al., 2002)

Foram introduzidos no modelo preços de energia primária (carvão, crude e gás natural) que têm por fonte as projecções da Agência Internacional para a Energia (AIE), bem como a quantificação do potencial dos diversos recursos energéticos disponíveis no horizonte temporal considerado. Os potenciais de energias endógenas foram definidos com base no trabalho desenvolvido para o Fórum de Energias Renováveis (Gonçalves et al., 2002). As características do parque tecnológico nacional no ano 2000 (stock, eficiência, disponibilidade, custos, etc.) foram definidas de duas formas: i) através de uma abordagem *bottom-up* que consistiu na consulta directa dos *stakeholders* nacionais para a refinação, geração de electricidade e principais sectores industriais, e ii) através de uma abordagem *top-down* para os restantes sectores, que consistiu na definição de taxas de penetração das diversas tecnologias, suas eficiências e custos a partir de diversas fontes nacionais. Tendo por base estes valores foram feitas iterações para se obter o stock de tecnologias que permite atingir os consumos finais dos respectivos sectores conforme o balanço energético da Direcção Geral de Geologia e Energia.

A procura de serviços de energia é gerada tendo em conta as projecções do modelo macroeconómico GEM-E3<sup>1</sup> para o crescimento do valor acrescentado bruto (VAB) dos diversos sectores económicos nacionais. A caracterização das tecnologias de oferta e consumo de energia disponíveis no mercado a partir de 2001 foi definida no quadro do NEEDS tendo por base um estudo do Energy Research Centre da Holanda.

<sup>1</sup> GEM-E3 é o acrónimo para General Equilibrium Model for Energy-Economy-Environment. Este é um modelo de equilíbrio geral desenvolvido por um consórcio europeu para a União Europeia que disponibiliza detalhes sobre a macro-economia e a sua interacção com o ambiente e sistema energético. Mais informação em: <http://www.gem-e3.net/projects.htm>

A função objectivo do modelo TIMES consiste na satisfação da procura dos serviços de energia ao mínimo custo possível. Para tal o modelo decide simultaneamente qual o investimento do equipamento e a sua operação, a oferta de energia primária e o comércio de energia, tendo em conta a equação (Loulou et al., 2005):

$$NPV = \sum_{r=1}^R \sum_{y \in YEARS} (1 + d_{r,y})^{REFYR-y} \bullet ANNCOST(r, y)$$

Equação 3.1. Função objectivo do modelo TIMES\_PT (Aguiar et al., 2002).

Em que:

NPV: valor actualizado líquido dos custos totais

ANNCOST: Custos anuais totais

d: Taxa de actualização

r: Região

YEARS: conjunto de anos para os quais existem custos (todos os do horizonte de modelação)

REFYR: ano de referência para actualização

### 3.2.2 Estratégia de Modelação

O modelo TIMES contém uma base de dados bastante completa sobre tecnologias energéticas para os sectores produtores e consumidores de energia – industrial, residencial, comercial, de transportes, de serviços, de produção de electricidade, agricultura, e outros.

No sector residencial, o modelo considera os seguintes usos:

- Aquecimento de espaço;
- Arrefecimento de espaço;
- Aquecimento de águas;
- Cozinha (confeção de alimentos);
- Iluminação;
- Outros aparelhos eléctricos.

Consoante o uso, o modelo considera, de forma competitiva, as tecnologias energéticas. Assim, para uma selecção das melhores tecnologias para cada uso energético, o modelo baseia-se no custo, eficiência e tempos de vida de cada uma das tecnologias, de modo a satisfazer a procura exigida pelo sector.

#### Procura

A procura do sector residencial depende das características das habitações, pelo que mereceu uma investigação detalhada. No âmbito do presente trabalho, seguindo a estrutura do projecto NEEDS, a Figura 3.2 ilustra o processo para estimar a procura de energia para os usos de

aquecimento e arrefecimento de espaço e de AQS do sector residencial. A projecção dos usos finais de energia para o sector residencial envolveu diversos passos, nomeadamente:

- A projecção do número de habitações e a sua divisão por categoria (apartamentos, vivendas rurais e vivendas urbanas);
- A projecção da procura para aquecimento e arrefecimento de espaço e para aquecimento de águas por número e categoria de habitação;
- Projecção da procura total de energia no sector residencial.

É de notar que embora o enfoque seja feito no parque residencial existente em 2000, foi necessário considerar todo o universo de habitações (incluindo as novas) por exigência de coerência de modelação.

As principais fontes de dados foram a Direcção Geral de Geologia e Energia (DGGE), os dados do Instituto Nacional de Estatística (INE, 2000; INE, 2001b; INE, 2002b; INE, 2003; INE, 2004) e do Instituto Nacional de Engenharia e Tecnologia Industrial (INETI) (Aguiar et al., 2002).

O modelo discrimina valores de procura de energia para os apartamentos, vivendas rurais e vivendas urbanas, no que diz respeito à procura de aquecimento, arrefecimento e aquecimento de águas, como representado na Figura 3.2.

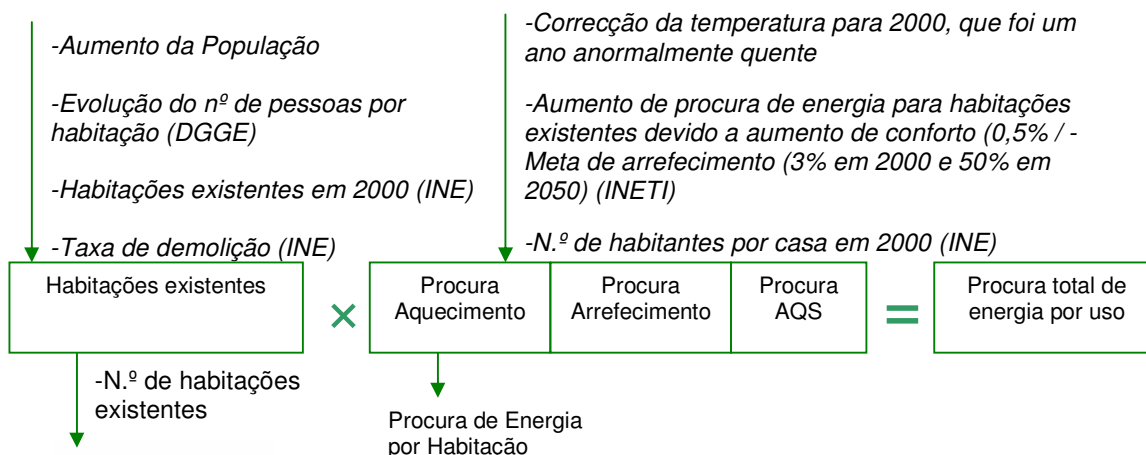


Figura 3.2. Projecção da procura de aquecimento / arrefecimento / AQS para o sector residencial (Adaptado de Aguiar et al., 2002).

Nos outros sectores, como a iluminação, confecção de alimentos e a electricidade específica (electrodomésticos e outros aparelhos eléctricos), o modelo não diferencia a procura de energia para os três tipos de habitações.

## Caracterização do Parque Habitacional

Relativamente à evolução do parque habitacional existente em 2000, considera-se uma taxa de demolição dos edifícios, cujo valor é de 0,27% ao ano. Desta taxa de demolição, 25,8% é atribuída às vivendas rurais, 53,9% às vivendas urbanas e 20,3% aos apartamentos (INE, 2000). A Figura 3.3 ilustra a evolução do parque habitacional existente em 2000 ao longo do período em análise, ou seja, até 2020.

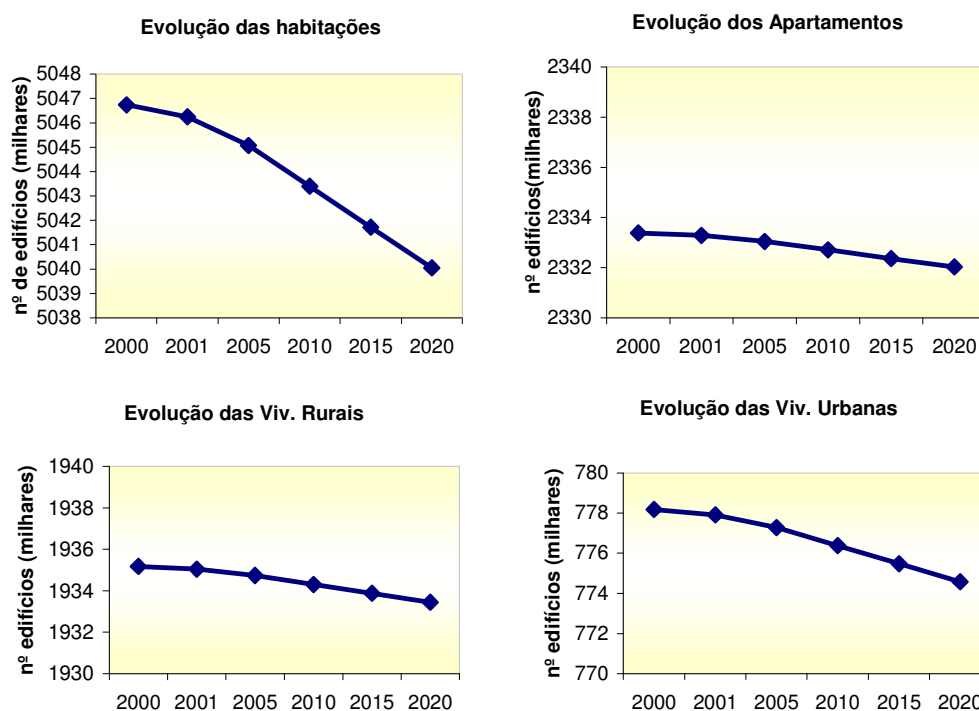


Figura 3.3. Evolução do número total de habitações de 2000 a 2020 existentes em 2000 (a), de apartamentos (b), de vivendas rurais (c), e de vivendas urbanas (d).

Como se pode verificar através dos gráficos anteriores, o número de vivendas e de prédios vai diminuindo ao longo do tempo, proporcionalmente à taxa de demolição.

Os dados caracterizadores das habitações médias consideradas neste trabalho estão enunciados no Quadro 3.1 e foram baseados no programa *MURE Odyssee Household*.

Quadro 3.1. Parâmetros de caracterização do parque habitacional português.

	Vivendas	Prédios
Área média de habitação (m <sup>2</sup> )	121,0	76,0
Número médio de andares por habitação	1,5	4,0
Número médio de habitações por andar	0	4,0
Número de janelas por habitação	9,0	6,0
Percentagem de áreas comuns (hall, escadas)	0	5,0
Área de pavimento por habitação (m <sup>2</sup> )	80,7	319,2
Área de telhado por habitação (m <sup>2</sup> )	104,9	319,2
Área de paredes exteriores por habitação (m <sup>2</sup> )	151,4	669,5

A título de curiosidade, a área média das habitações europeias varia entre 2,2 e 3,1 pessoas, e tem vindo a decrescer de 2,8 pessoas em 1980 para 2,5 pessoas em 1995, período no qual

muitos países europeus viram um decréscimo de 10 a 15% no tamanho dos agregados familiares (ENERDATA, 2003). Por outro lado, o aumento do número de agregados familiares aumenta a necessidade de mais edifícios, nos quais a área média das habitações na UE-15 aumentou de 84m<sup>2</sup> em 1985 para 89,5m<sup>2</sup> em 2001, com uma taxa de crescimento média anual de 0,3% (ENERDATA, 2003).

## Tecnologias

As tecnologias de produção de energia são variadas, sendo algumas comuns a vários usos. Um exemplo refere-se a uma bomba de calor que tem a potencialidade de aquecer ou arrefecer o espaço ambiente, e uma caldeira que pode aquecer espaço e águas sanitárias, ambas funcionando a electricidade. As tecnologias estão descritas no anexo I, sendo que cada tecnologia pode ou não ser aplicável aos três tipos de habitações estudadas – apartamentos, vivendas rurais e vivendas urbanas.

A comparação dos custos das tecnologias disponíveis no mercado para cada uso é feita através de curvas de oferta. Estas curvas, ordenadas pelo custo de investimento + custo de operação e manutenção, contêm informação de custos de investimento, custos de operação e manutenção, e custos de combustível associados ao seu funcionamento.

Uma vez que os preços de combustível, necessários à utilização das tecnologias, variam ao longo do tempo e entre os cenários estudados, a Figura 3.4 ilustra a variação dos preços de combustível ao longo do tempo, face a um cenário denominado Quioto.

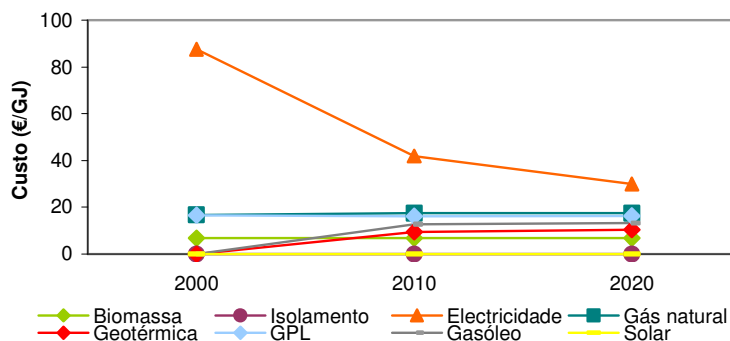


Figura 3.4. Variação dos custos dos combustíveis ao longo dos anos no modelo TIMES\_PT.

O custo total de combustível associado à utilização de cada tecnologia depende do consumo de combustível necessário para o seu funcionamento. Por este motivo, nas curvas de oferta, os custos de combustível estão ilustrados apenas para as tecnologias seleccionadas pelo modelo, enunciadas na secção 4.2.2 do presente trabalho.

A título de exemplo, a Figura 3.5 ilustra a curva de oferta das tecnologias de aquecimento de águas sanitárias para os apartamentos, gerada pelo modelo TIMES para o ano 2020, para um cenário de emissões designado Quioto.

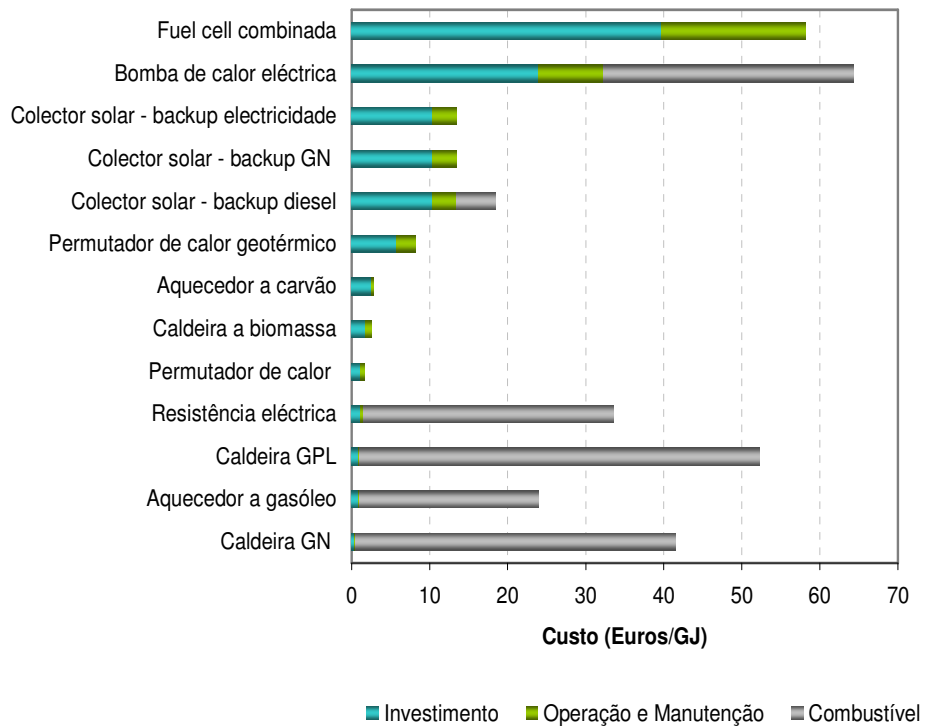


Figura 3.5. Curva de oferta das tecnologias de AQS nos apartamentos.

A tecnologia mais dispendiosa é a *Fuell cell*, e a de custo mais reduzido é a caldeira a gás natural. Verifica-se que os colectores solares são mais competitivos do que a bomba de calor eléctrica.

As tecnologias de aquecimento de espaço e respectivos custos de investimento, operação e manutenção, e de combustível, estão representados na Figura 3.6.

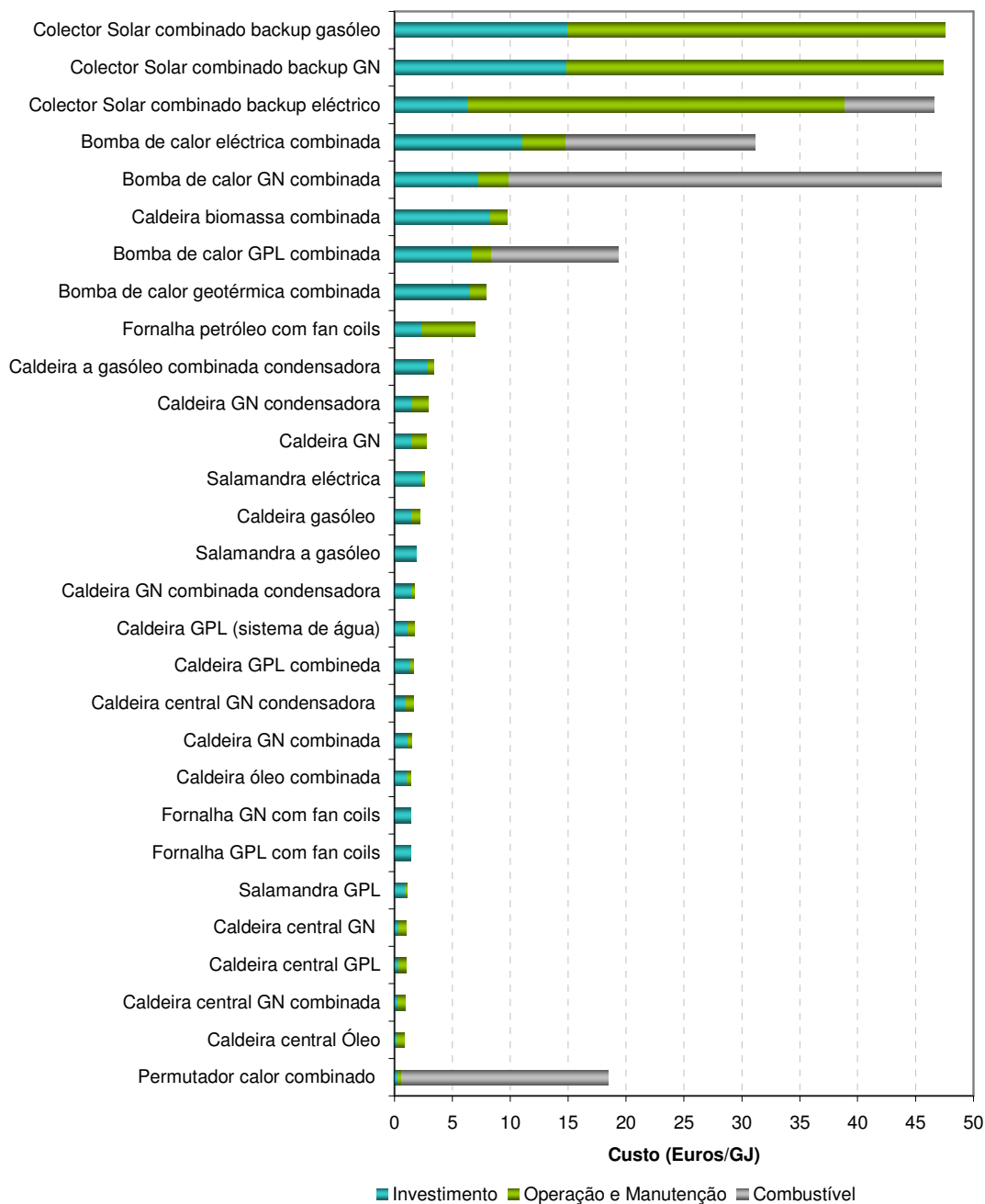


Figura 3.6. Curva de oferta das tecnologias de aquecimento de espaço nos apartamentos.

Para o aquecimento de espaço as tecnologias mais dispendiosas são colectores solares; as mais acessíveis são o permutador de calor combinado e caldeiras a óleo, a gás natural e a GPL.



As tecnologias de arrefecimento de espaço estão caracterizadas na Figura 3.7 pelo facto de as tecnologias não variarem segundo o tipo de habitação, este gráfico diz respeito à caracterização das tecnologias para todas as habitações portuguesas.

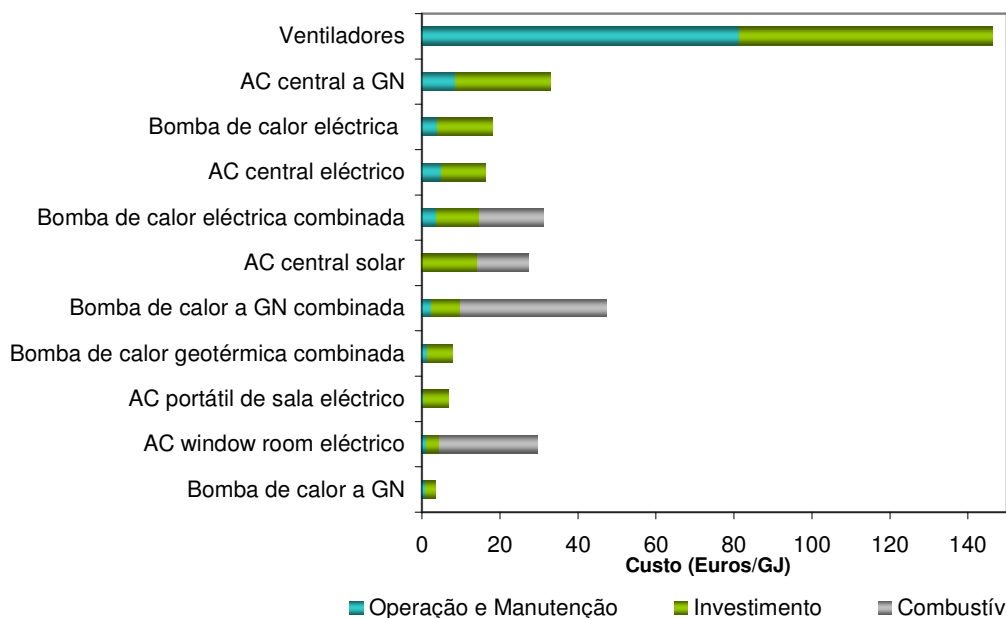


Figura 3.7. Curva de oferta das tecnologias de arrefecimento de espaço na totalidade das habitações.

Das tecnologias de arrefecimento de espaço, o ventilador é a tecnologia mais dispendiosa, sendo a bomba de calor a gás natural a mais acessível economicamente.

As curvas de oferta dos restantes usos e tipos de habitação, estão presentes no Anexo V.

Além das tecnologias convencionais que produzem calor para o espaço, a base de dados do modelo contém tecnologias de isolamento que competem com as tecnologias anteriores em termos de fornecimento de serviços de energia.

São consideradas tecnologias que coincidem com as estudadas na publicação *Reabilitação Energética da Envolvente de Edifícios* (DGGE, 2004b), sendo elas:

- uma tecnologia de isolamento de pavimento;
- duas tecnologias de isolamento de paredes, uma pelo exterior e outra pelo interior;
- uma tecnologia de isolamento do telhado inclinado – desvão desabitado - e uma de isolamento de terraços planos;
- três tecnologias de isolamento de janelas: aplicação de vidros duplos, colocação de uma película de isolamento junto ao vidro e aplicação de vidros de baixa emissividade.

As diferentes tecnologias de isolamento, caracterizadas no anexo II, podem ou não ser aplicadas em simultâneo. Por este motivo foi necessário criar, para o modelo, um factor de máxima aplicabilidade para cada tecnologia, como apresentado no Quadro 3.2.

A tecnologia de isolamento de pavimento tem limite máximo de aplicabilidade, ou seja de 1, uma vez que é a única tecnologia de isolamento de pavimento existente na base de dados do modelo. Cada tecnologia de isolamento de paredes tem limite máximo de aplicabilidade de 50%, uma vez que “não é rentável optar-se pelas duas tecnologias na mesma parede” (Vera-Cruz, 2007). No caso do isolamento dos telhados, considera-se que 85% dos telhados das habitações portuguesas construídas até 2000 são inclinados, sendo os restantes 15% de terraços planos. Relativamente ao isolamento das janelas, considera-se uma aplicabilidade de 50% para os vidros duplos e para os vidros de baixa emissividade, pois a aplicação de uma tecnologia exclui a de outra. Qualquer janela pode ter uma película de isolamento, logo, o seu factor é de 100%.

Quadro 3.2. Factor de Aplicabilidade das tecnologias de isolamento.

Tecnologia de isolamento	Factor de Aplicação
Pavimento	1
Paredes interior	0,5
Paredes exterior	0,5
Tecto inclinado	0,85
Terraço plano	0,15
Vidros Duplos	0,50
Vidros de baixa emissividade	0,50
Película de Isolamento	1

Além do limite máximo de aplicabilidade, o potencial máximo de aplicação das tecnologias de isolamento foi criado para evitar que o modelo satisfaça a totalidade das necessidades energéticas portuguesas com tecnologias de isolamento. Para cada tecnologia de isolamento e para cada tipo de habitação, o potencial máximo de aplicação foi estimado pela multiplicação do factor de aplicabilidade pela percentagem de poupança energética de cada tecnologia, e pela procura de energia para aquecimento. Este potencial de aplicação máxima de tecnologias de isolamento vem pois expresso em unidades de energia.

É de notar que, ao longo deste trabalho, o tecto máximo imposto a cada tecnologia de isolamento, não foi alcançado em nenhuma das corridas realizadas ao modelo, com excepção da análise de sensibilidade ao modelo (secção 4.3 do presente trabalho).

O custo por unidade de energia poupada pela introdução de cada uma das tecnologias de isolamento existentes no modelo foi adaptado à realidade portuguesa, sendo dependente dos seguintes parâmetros: custo de investimento e aplicação das tecnologias; percentagem de energia poupada pela utilização de cada uma, face a um cenário sem isolamento; e energia útil necessária para aquecer as casas portuguesas até uma temperatura de conforto de 20°C no Inverno.

A título ilustrativo, o custo das tecnologias de isolamento do pavimento e de paredes pelo interior está representado no Quadro 3.3 para cada tipo de habitação. O custo de uma das tecnologias de isolamento de telhado e de vidros duplos nas janelas vem no Quadro 3.4, também por cada tipo de casa.

Quadro 3.3. Custo final e características dos isolantes de pavimento e de paredes pelo interior.

	Pavimento		Paredes pelo interior	
	Apartamento	Vivenda	Apartamento	Vivenda
Custo final (€)	1182,6	1258,5	1519,8	5500,3
Área isolada por lar (m <sup>2</sup> )	75,8	80,7	41,9	151,4
Custo / m <sup>2</sup> (€/m <sup>2</sup> )	15,6		36,3	
Espessura do isolante (mm)	50		60	

Quadro 3.4. Custo final e características dos isolantes de telhado inclinado e de vidros duplos para janelas.

	Telhado inclinado		Vidros Duplos	
	Apartamento	Vivenda	Apartamento	Vivenda
Custo final (€)	183,5	964,8	737,7	1106,5
Área isolada por lar (m <sup>2</sup> )	20,0	104,9	8,76	13,14
Custo / m <sup>2</sup> (€/m <sup>2</sup> )	9,20		84,2	
Espessura do isolante (mm)	90		-	

É de notar que, no modelo TIMES\_PT, as tecnologias de isolamento estão modeladas como fornecendo apenas calor para as habitações, não sendo considerado para efeitos de arrefecimento de espaço. Isto deve-se ao facto de, em 2000, apenas 2% da procura de serviços de energia corresponder ao arrefecimento de espaço. No entanto, devido ao aumento das exigências de conforto no Verão e à diminuição dos preços de equipamentos de ar condicionado, este valor nos últimos anos tem vindo a aumentar a uma taxa média de 8% ao ano em Portugal (CEEETA) e, considerando o período de tempo entre 1990 e 2000, 15% ao ano na UE-15 (Mantzos et al., 2003).

Os custos e as características das restantes tecnologias de isolamento consideradas no presente trabalho encontram-se no Anexo IV, bem como todos os cálculos associados.

### Elasticidades

O consumo doméstico de electricidade tem tendência para aumentar, sem reagir muito ao aumento dos preços da mesma. A título de exemplo, na cidade do Porto, no período 1970-1987, face a um decréscimo dos preços de electricidade verificou-se um aumento dos consumos; no entanto, entre 1988-1994 apesar de ter havido um forte crescimento dos preços de electricidade, este não foi acompanhado de um decréscimo generalizado dos consumos, verificando-se que os anos de 1988, 1991 e 1992 apresentam crescimentos no consumo de cerca de 9%, 14% e 4% respectivamente (DPP, 2008).

Em Portugal, ao longo do período 1970-2005 não é possível detectar qualquer resposta significativa ao consumo por cliente a variações nos preços da electricidade, quer em termos reais quer relativos (Boucinha e Domingos, 2006).

Neste contexto, e uma vez que o objectivo do presente trabalho prende-se com a avaliação do potencial de poupança energética nas habitações portuguesas, considera-se uma procura de energia não elástica. Logo, admite-se que, independentemente do preço da energia final, as necessidades energéticas não diminuem, e por conseguinte, o consumo necessário para suprir tais necessidades também não diminui. Considera-se pois que os consumos de energia pela população

não dependem da variação dos custos das tecnologias energéticas, nem dos respectivos combustíveis.

### **Cenários Estudados**

O Protocolo de Quioto é um primeiro passo rumo a um caminho da mitigação dos GEE, segundo o qual para 2008-2012 a meta de emissões de GEE na União Europeia será -8% relativamente a 1990 (sendo de +27% em Portugal). Para 2020 foram já estabelecidas metas de -20% podendo chegar aos -30% (Aguiar e Santos, 2007). Neste contexto, é necessário estudar e prever quais serão os esforços associados a diferentes metas de redução de emissões impostas para Portugal.

Neste trabalho são estudados quatro cenários, que diferem nas restrições de CO<sub>2</sub> impostas, sendo eles:

- Cenário sem restrições (SR), no qual a evolução das variáveis ocorre sem qualquer controlo de emissões;
- Cenário de Quioto, em que as emissões de Portugal não podem aumentar mais do que 27% em 2010 relativamente a 1990, mantendo-se constantes até 2020;
- Cenário 0%, em que se restringe as emissões em 2020, igualando as mesmas às emissões de CO<sub>2</sub> registadas em 1990;
- Cenário -20%, em que se admite que em 2020, as emissões de GEE têm de ser 20% inferiores às emissões de 1990.

Estes dois últimos cenários, para além da meta de 0% ou -20% de emissões de CO<sub>2</sub> em 2020, englobam também a meta de Quioto, ou seja, +27% de emissões em 2010 relativamente a 1990. É de realçar que as restrições de emissões de CO<sub>2</sub> impostas ao modelo são aplicadas globalmente a todo o sector energético.

Todos os cenários têm os mesmos pressupostos de política, que consideram as mais relevantes políticas energéticas portuguesas, sendo eles:

1. Não se considerar a energia nuclear como uma opção de fonte de energia aceitável no horizonte temporal do modelo;
2. Considerar-se um mínimo de electricidade gerada através de ciclo de gás combinado entre 2010-2030, seguindo uma política de diversificação de fontes de energia e de apoio ao gás natural. A electricidade gerada corresponde no mínimo a 1100MW de capacidade instalada desde 2010 a 2030;
3. Seguindo a mesma política de diversificação de fontes de energia e de apoio ao gás natural, considerar-se que as novas centrais de carvão estarão disponíveis apenas desde 2015;
4. Assumir-se que as tecnologias de carvão sem sequestro de carbono não serão implementadas de 2015 em diante, seguindo as políticas previstas de controlo de Gases de Efeito de Estufa;

5. Considerar-se que a produção de electricidade através de resíduos municipais continuará até 2030 seguindo a actual política de gestão de resíduos;

6. Considerar-se que a produção de electricidade através de biomassa (resíduos de madeira), continuará durante todo o tempo de vida das centrais existentes, seguindo as políticas de controlo de incêndios florestais;

7. Assegurar-se um mínimo de 1,1GW de capacidade instalada de vento *onshore*, que é definida em 2005, no seguimento das tarifas que incentivam a electricidade renovável. Este limite é imposto porque o mecanismo das tarifas não está incluído no TIMES\_PT explicitamente nos custos das tecnologias de electricidade renovável;

8. Assumir-se que, no seguimento da Directiva 2003/30/EC, em 2010 o consumo de biocombustíveis, metanol e etanol não poderá ser inferior a 5,75% do consumo de gasolina e gasóleo nos transportes;

9. Considerar-se que a partir de 2010 a electricidade produzida terá de ser no mínimo 39% em energia renovável, no seguimento da Directiva 2001/77/EC;

10. Não se considerarem processos de gaseificação por não ser expectável que existam até 2020 estes processos de produção de combustíveis a partir de gaseificações de carvão ou gás.

11. Incluir-se a taxa de Imposto sobre Produtos petrolíferos, cujos valores estão enunciados no Quadro 3.5 (assumem-se valores de 2007 constantes até 2030).

Quadro 3.5. Impostos sobre produtos petrolíferos (ISP) considerados no TIMES\_PT em €/PJ.

Produtos Petrolíferos	ISP (€/PJ)		
	2001	2005	2010-2030
Carvão – residencial, oferta de energia <sup>1</sup>	0.00	0.15	0.16
Carvão – electricidade e cogeração	0.00	0.00	0.00
Produtos Petrolíferos– residencial e comercial	6.68	2.48	3.73
Produtos Petrolíferos – electricidade e cogeração	0.00	0.00	0.00
Produtos Petrolíferos – agricultura	1.63	2.11	2.78
Produtos Petrolíferos – industria	0.69	0.38	0.38
Gás – RCA <sup>a</sup> , oferta de energia & indústria	0.20	0.00	0.00
Gás – electricidade e CHP	0.00	0.00	0.00
Gás – transportes	0.20	2.60	2.72
GPL – RCA e indústria	0.16	1.58	0.69
GPL – transportes	8.70	4.52	6.82
Gasóleo – agricultura	8.98	11.48	14.22
Gasóleo – transportes	6.68	8.54	10.58
Gasolina – transportes	11.46	18.04	20.57
Biocombustíveis, Metanol, Etanol - transportes	8.98	11.48	14.22
Quiroseno – transportes	0.00	0.00	0.00
Fuel Óleo – transportes	0.00	0.00	0.00
Naphta – industria	0.00	0.00	0.00
Biomassa – todos os sectores	0.00	0.00	0.00
Electricidade – todos os sectores	0.00	0.00	0.00

Para além dos pressupostos de política, os cenários também contêm restrições de ordem técnica, enunciadas seguidamente:

<sup>1</sup> O sector de oferta de energia compreende as gaseificações, refinarias e centrais termoeléctricas.

1. As importações e exportações de electricidade são limitadas, em +255% e +121% respectivamente aos valores de 2000;
2. O potencial de armazenamento de CO<sub>2</sub> é de 5000 Gg (aproximadamente 6% das emissões previstas em 2020);
3. A possibilidade máxima de penetração do gás natural no país até 2030 é de 85%, com base em informação da GALP Energia segundo a qual apenas 85% dos utilizadores residenciais e comerciais poderão ser servidos por gás natural;
4. Não serão instaladas grandes unidades dedicadas para produção de calor - calor via cogeração.

Importa referir ainda que alguns parâmetros foram restringidos, para uma correcta calibração e validação no modelo TIMES\_PT, com o intuito de aproximar o comportamento do modelo com a realidade.

Dada a baixa eficiência de algumas das tecnologias existentes e aos diferentes custos da energia final, o modelo tem tendência para proceder à sua imediata substituição por novas tecnologias mais custo-eficazes. Por exemplo, iniciando o modelo em 2000, todos os fornos e fogões existentes podem ser substituídos por outros mais eficientes logo em 2001, porque se admite que existe conhecimento perfeito do mercado. No entanto, devido a razões como a resistência à mudança, falta de conhecimento dos consumidores, questões estéticas e de conforto, não é expectável que os equipamentos existentes do sector residencial sejam completamente substituídos num curto intervalo de tempo. Por esse motivo são estabelecidos factores de inércia (Quadro 3.6) traduzidos em valores mínimos de manutenção das contribuições de energia final, para satisfação dos serviços de energia nos edifícios existentes no sector residencial, tendo em conta (Simões, 2007):

- Os valores verificados em 2000, que resultam do balanço energético da DGGE, de estudos da DGGE sobre consumo no sector residencial, e de parâmetros de confortos das famílias do INE;

- O tempo de vida máximo dos equipamentos existentes em 2000 (para fogões a gás natural ou eléctricos é de 15 anos; para fogões a GPL 9 anos e esquentadores para aquecimento de água é de 17 anos).

Quadro 3.6. Factores de Inércia (%) considerados para a validação do modelo TIMES\_PT.

Anos	2000	2001	2010	2020	Tipo de restrição
<b>Cozinha</b>					
Electricidade	0,8	0,9	0,9	0,9	Mín.
GPL	45,2	40,7	31,7	22,7	Mín.
<b>Aquecimento de espaço nos apartamentos</b>					
Electricidade	54	65	65	54	Mín.
Gás Natural	0,07	0,07	0,07	0,03	Mín.
GPL	10,0	9,0	8,0	0,05	Mín.
Gasóleo	0,1	1,0	2,0	2,0	Máx.
<b>Aquecimento de espaço nas vivendas rurais</b>					
Biomassa	87,0	87,0	69,0	43,0	Mín.
Electricidade	12,0	12,0	12,0	12,0	Mín.

	2000	2001	2010	2020	Tipo de restrição
<b>Aquecimento de espaço nas vivendas rurais (cont.)</b>					
Gás Natural	0,01	0,01	0,01	0,004	Mín.
Gasóleo	0,1	1,0	1,0	5,0	Máx.
<b>Aquecimento de espaço nas vivendas urbanas</b>					
Biomassa	29,0	29,0	29,0	0,0	Máx.
Electricidade	65,0	78,0	78,0	65,0	Mín.
Gasóleo	0,0	0,0	1,0	1,0	Máx.
<b>Aquecimento de águas nos Apartamentos</b>					
Electricidade	10,0	12,0	12,0	10,0	Mín.
Gás Natural	12,0	13,0	12,0	6,0	Mín.
GPL	74,0	66,0	52,0	37,0	Mín.
Gasóleo	0,0	0,0	1,0	3,0	Máx.
<b>Aquecimento de águas nas vivendas rurais</b>					
Biomassa	7,0	7,0	7,0	3,0	Mín.
Gás Natural	3,0	13,0	3,0	1,0	Mín.
GPL	81,0	73,0	57,0	32,0	Mín.
Gasóleo	0,0	0,1	1,0	1,0	Máx.
<b>Aquecimento de águas nas vivendas urbanas</b>					
Biomassa	3,0	3,0	3,0	2,0	Mín.
Gás Natural	13,0	13,0	13,0	7,0	Mín.
GPL	54,0	54,0	27,0	11,0	Mín.
Gasóleo	0,0	0,1	1,0	1,0	Máx.

Resumindo, tendo em conta a procura de energia necessária para cada uso do sector residencial, e respeitando diferentes restrições de política e de CO<sub>2</sub> impostas à globalidade dos sectores, o modelo seleccionará quais as tecnologias mais custo-eficazes para a satisfação da procura de energia dos usos estudados ao custo mínimo. Por sua vez, as tecnologias necessitam de consumir fontes de energia (com excepção das tecnologias de isolamento). Cada solução emite gases de efeito de estufa, que podem ser minimizados face a cenários restritivos em emissões. No presente trabalho as emissões contabilizadas são apenas de CO<sub>2</sub>, uma vez que representam 87% do total de emissões de GEE no ano de 2000 (base de dados do modelo TIMES\_PT).

### 3.2.3 Calibração do Modelo para o Ano 2000

O ano base do modelo TIMES\_PT é o ano 2000, sendo também o ano para que foi calibrado o modelo face aos balanços de energia final da DGGE. A Figura 3.8 e a Figura 3.9 ilustram a aderência dos resultados do modelo face aos valores energéticos quer no que se refere à energia primária para a produção de electricidade, quer à energia final, no sector residencial.

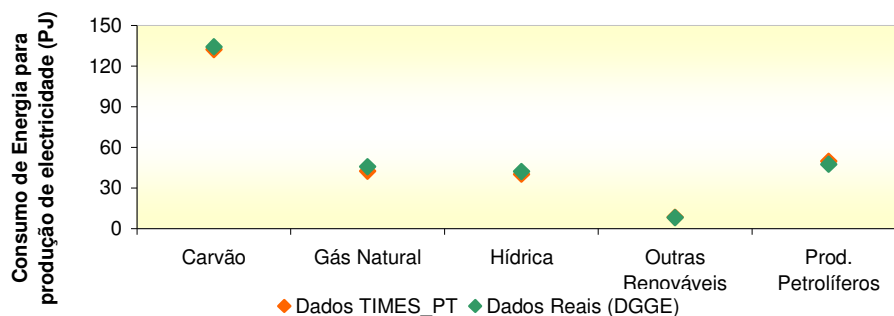


Figura 3.8. Energia primária consumida no ano 2000 para a produção de electricidade.

Verifica-se uma correspondência quase total comparando os dois conjuntos de dados. A maior diferença corresponde ao consumo de Gás Natural, que é no modelo 7% inferior aos dados reais. Relativamente à contribuição de cada fonte de energia na produção de electricidade (Quadro 3.7) os dados gerados pelo modelo aproximam-se, da mesma forma, muito da realidade. A energia hidroelétrica e outras renováveis têm o mesmo peso face ao modelo e à realidade, enquanto que o carvão, o gás natural e os produtos petrolíferos apresentam uma diferença de apenas um ponto percentual.

Quadro 3.7. Contribuição de cada fonte de energia primária na produção de electricidade.

	TIMES_PT (%)	Balanços energéticos (%)
Carvão	48	49
Gás Natural	16	17
Hídrica	15	15
Outras renováveis	3	3
Petrolíferos	18	17

Especificando para o sector residencial, na Figura 3.9 é feita a comparação do consumo de energia final neste sector, face aos dados do modelo e aos dados da DGGE. Não se verifica qualquer diferença no consumo de electricidade e de GPL. Relativamente ao consumo de biomassa, o modelo apresenta valores de consumo ligeiramente superiores aos reais, e o consumo de gás natural é 7% mais elevado relativamente à realidade nos dados do modelo TIMES\_PT.



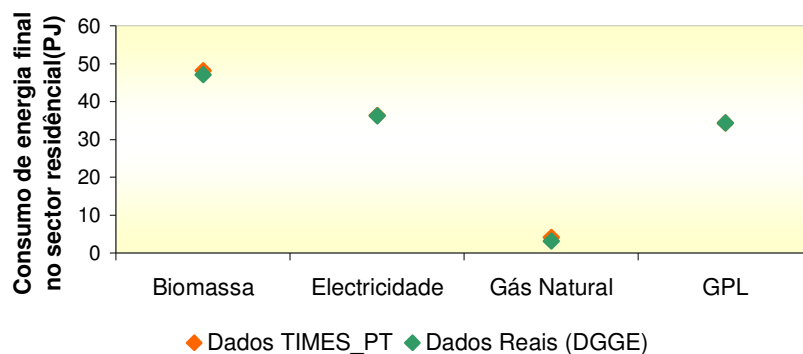


Figura 3.9. Energia final consumida no ano 2000 pelo sector residencial.

No entanto, olhando para o peso de cada fonte de energia relativamente ao consumo de energia final (Quadro 3.8) verifica-se que as únicas diferenças entre os dados do modelo e os balanços energéticos residem no consumo de biomassa e de electricidade, sendo a diferença apenas de um ponto percentual em cada.

Quadro 3.8. Contribuição das fontes de energia final no consumo de energia total no sector residencial.

	TIMES_PT (%)	Balanços energéticos (%)
Biomassa	39	38
Electricidade	30	29
Gás natural	3	3
GPL	28	28

Verifica-se que o ano base do modelo TIMES\_PT está correctamente calibrado, facto que dá credibilidade aos dados do modelo, e confiança nos seus resultados.

### 3.2.4 Caracterização do Ano Base

Como foi dito anteriormente, o ano base utilizado para este trabalho corresponde ao ano 2000, para o qual o modelo TIMES\_PT foi calibrado com os balanços energéticos da DGGE. Neste capítulo encontra-se a caracterização das tecnologias existentes no ano 2000, para cada uso, quanto à potência instalada e consumo verificado. Estes dados são provenientes de resultados do modelo, tendo em conta o consumo real de energia final no sector residencial (DGGE, 2000) valor esse que o modelo distribuiu segundo os usos do sector residencial.

No sector residencial, os usos energéticos incluem aquecimento de espaço, aquecimento de águas sanitárias, arrefecimento de espaço, usos de cozinha, iluminação e electricidade específica. Para os três primeiros usos enumerados, encontram-se diferenciados diferentes tipos de habitação – prédios, vivendas rurais e vivendas citadinas.

No ano 2000 as tecnologias de aquecimento dos três tipos de habitação tinham a caracterização, relativamente à potência instalada e ao consumo, presentes na Figura 3.10 e na Figura 3.11. A simbologia (Aq.) diz respeito a tecnologias que apenas produzem calor para o espaço, e (Aq.+AQS) a tecnologias que produzem aquecimento de espaço e de águas.

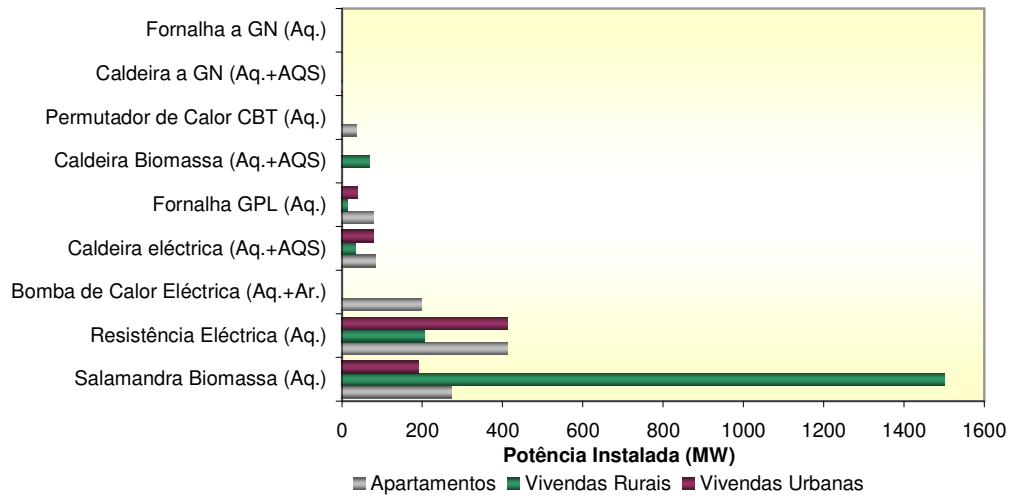


Figura 3.10. Potência Instalada das tecnologias de aquecimento de espaço no ano 2000.

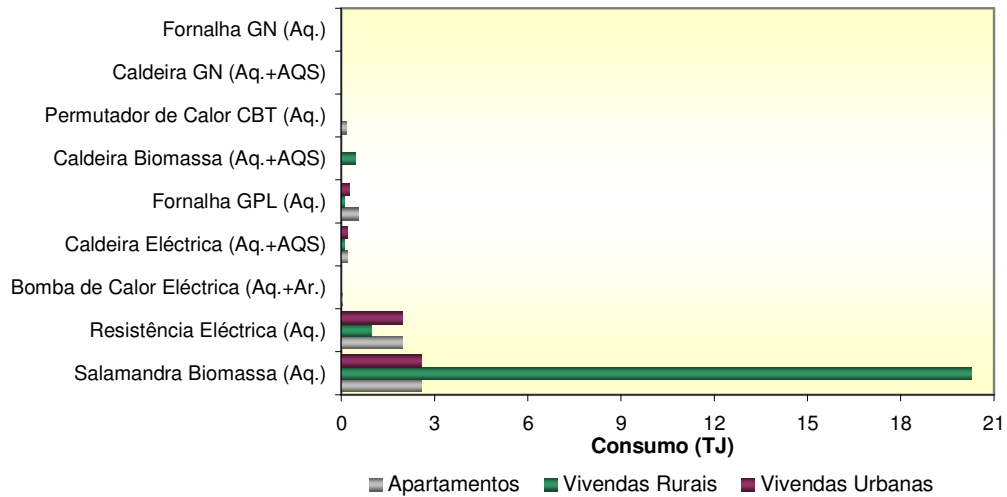


Figura 3.11. Consumo de energia para aquecimento de espaço de espaço pelas tecnologias no ano 2000.

A caracterização das tecnologias de arrefecimento de espaço no ano 2000 segundo modelo TIMES\_PT está representada na Figura 3.12 e na Figura 3.13.

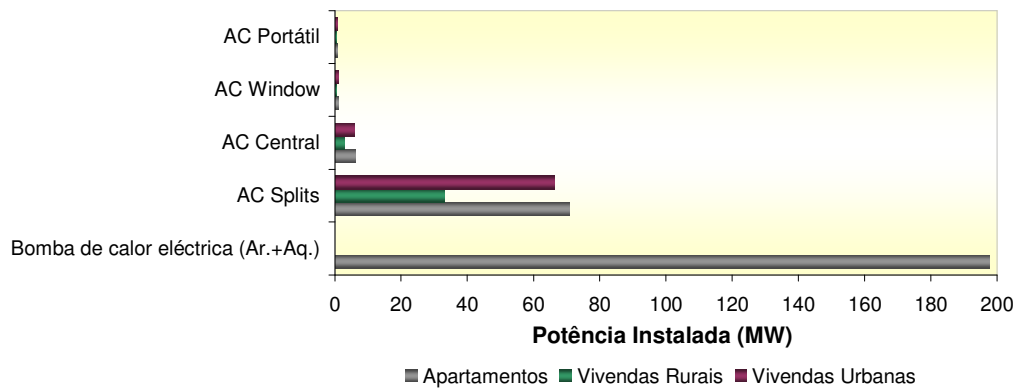


Figura 3.12. Potência Instalada das tecnologias de arrefecimento de espaço no ano 2000.

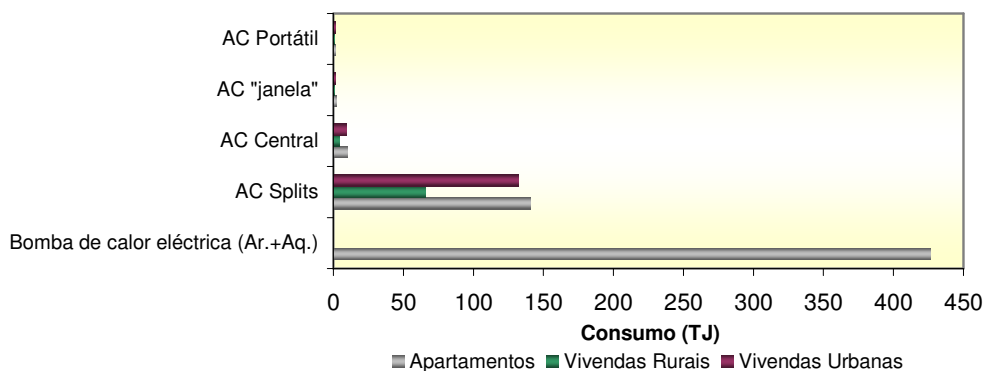


Figura 3.13. Consumo de energia para arrefecimento de espaço pelas tecnologias no ano 2000.

A caracterização das tecnologias de AQS no ano 2000 segundo modelo TIMES\_PT, está representada na Figura 3.14 e na Figura 3.15.

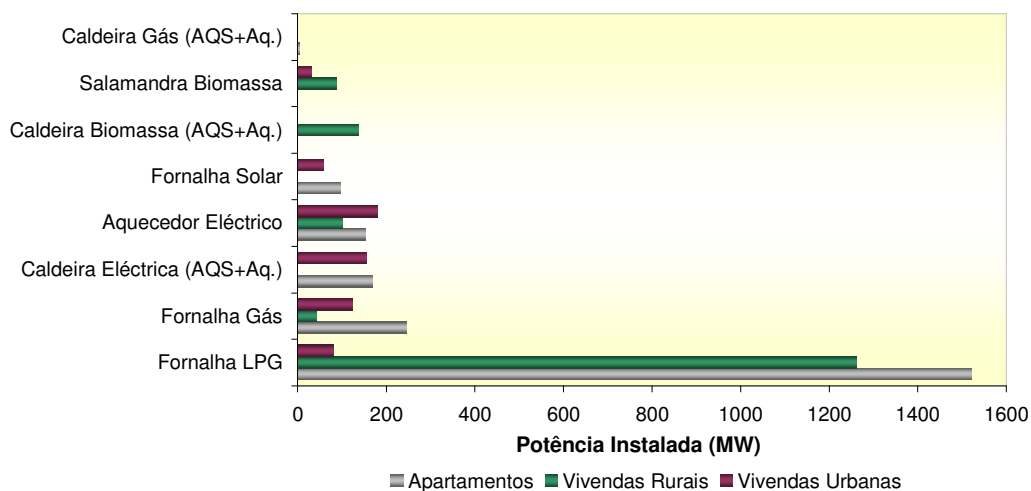


Figura 3.14. Potência Instalada das tecnologias de AQS no ano 2000.

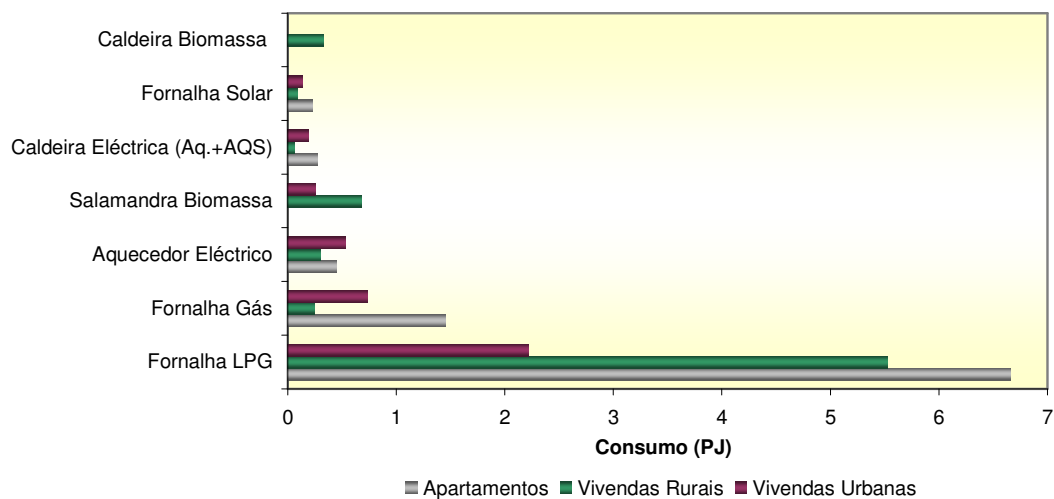


Figura 3.15. Consumo de energia para AQS pelas tecnologias correspondentes no ano 2000.

Os seguintes sectores – cozinha, iluminação e electricidade específica – não diferenciam os tipos de habitação, existindo as mesmas tecnologias nos três sectores. Os resultados apresentados correspondem portanto ao somatório de todos os apartamentos e vivendas portuguesas existentes em 2000.

A Figura 3.16 ilustra a capacidade instalada e o consumo das tecnologias de cozinha para o ano base.

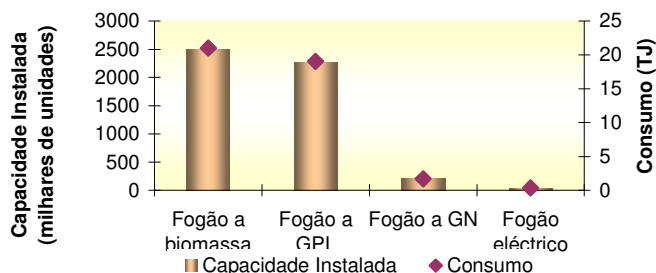


Figura 3.16. Capacidade Instalada e consumo das tecnologias de cozinha em 2000.

As tecnologias de iluminação estão caracterizadas na Figura 3.17, sendo de salientar que o consumo de energia das lâmpadas incandescentes corresponde a 85% do consumo de toda a iluminação. A capacidade instalada deste tipo de lâmpadas também é muito superior à das restantes.

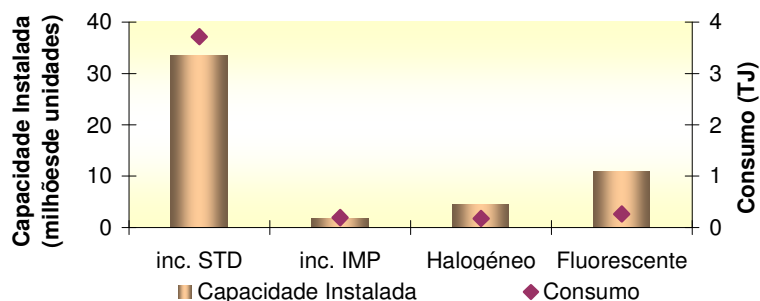


Figura 3.17. Capacidade Instalada e consumo das tecnologias de iluminação em 2000.

As tecnologias de electricidade específica existentes no ano 2000, ou seja, electrodomésticos, estão caracterizadas na Figura 3.18. Não considerando os outros aparelhos eléctricos, a máquina de lavar roupa é o electrodoméstico com maior número de unidades instaladas, seguida do frigorífico combinado. No entanto, este último é o electrodoméstico que consome mais energia.

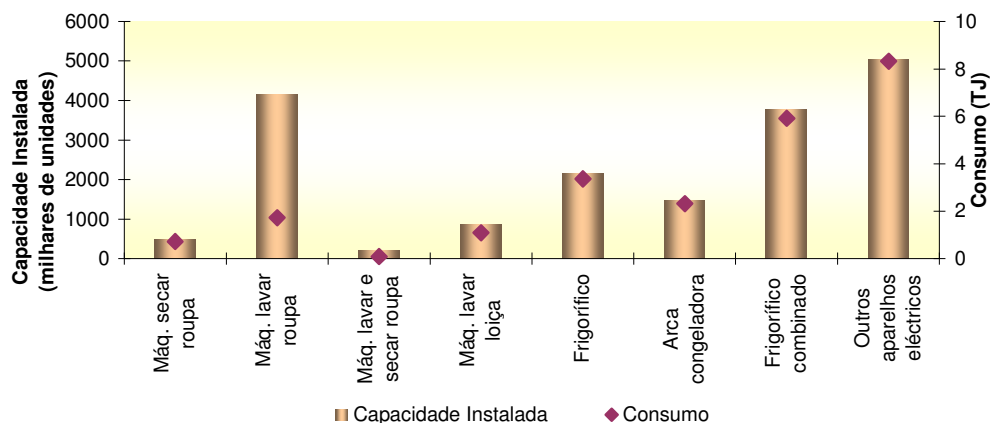


Figura 3.18. Capacidade Instalada e consumo das tecnologias de electricidade específica em 2000.

Para analisar o perfil de energia final do parque habitacional existente em 2000, em cada uso para cada tipo habitação, segundo o modelo TIMES\_PT, é necessário separar os usos de aquecimento e arrefecimento de espaço e AQS, dos restantes usos. A Figura 3.19 ilustra o perfil de energia final para os usos de arrefecimento, aquecimento de espaço e de AQS, e a Figura 3.20 para os restantes usos energéticos.

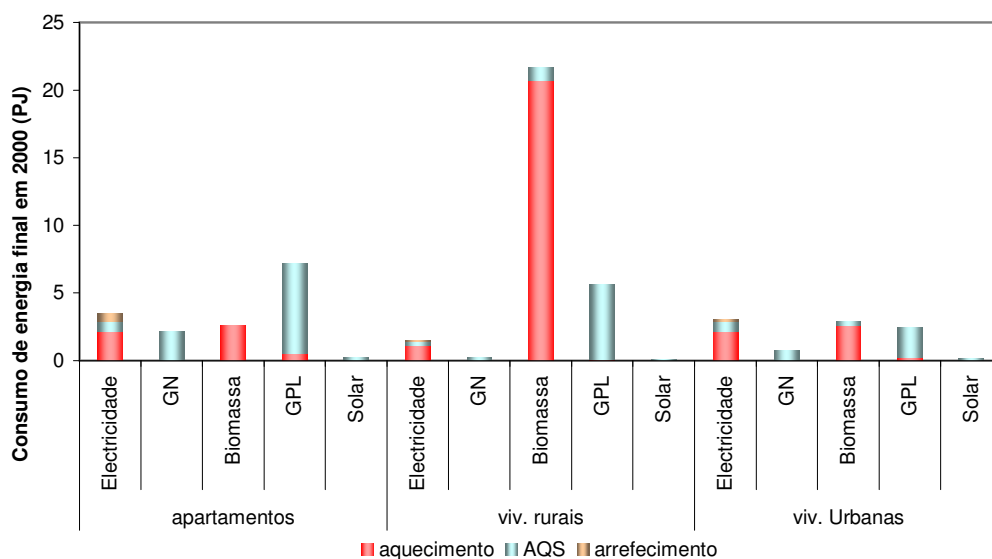


Figura 3.19. Consumo de energia final para usos de aquecimento e arrefecimento de espaço e AQS em 2000 segundo o modelo TIMES\_PT.

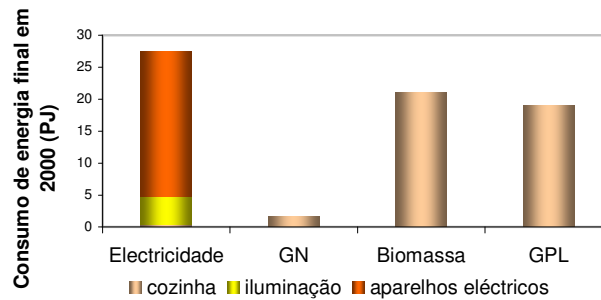


Figura 3.20. Consumo de energia final para usos de cozinha, iluminação e restante electricidade específica (aparelhos eléctricos) em 2000 segundo o modelo TIMES\_PT.

Verifica-se que no ano 2000 grande parte das necessidades energéticas de aquecimento era suportada por biomassa, notando-se um forte consumo desta fonte nas vivendas rurais. Todo o arrefecimento de espaço era proveniente de equipamentos eléctricos e o GPL era responsável por grande parte das necessidades de energia para AQS. A confecção de alimentos era suportada em 96% por biomassa e GPL, e os aparelhos eléctricos apresentam um forte consumo de electricidade.

### 3.2.5 Metodologia de Repartição do Consumo e Emissões de Consumos Eléctricos e de Cozinha

Como já foi visto, o modelo TIMES\_PT considera os usos: 1) aquecimento de espaço; 2) arrefecimento de espaço; 3) AQS; 4) cozinha; 5) Iluminação e 6) outra electricidade específica. Para os três primeiros usos o modelo separa as habitações portuguesas em apartamentos, vivendas rurais e vivendas urbanas e em habitações existentes em 2000 e as construídas posteriormente a essa data. No entanto, para os três últimos sectores, o modelo não separa os diferentes tipos de habitação nem quanto à sua localização – rural, urbana ou prédio – nem quanto à idade das habitações – existentes no ano base do modelo ou construídas após essa data.

Uma vez que a presente tese estuda apenas o parque habitacional existente, torna-se importante construir uma metodologia de repartição do consumo de electricidade específica, e para usos de cozinha, nos edifícios existentes em 2000 / 2010 e 2020, e contabilizar as emissões associadas.

Como os usos de cozinha, iluminação e outra electricidade específica englobam o consumo de energia quer das habitações existentes em 2000, quer das habitações construídas posteriormente a 2000, torna-se necessário proceder a três desagregações:

- Separar os consumos provenientes de aquecimento e arrefecimento dos restantes consumos de electricidade;
- Da fracção correspondente a restantes consumos de electricidade, separar os consumos provenientes de usos de cozinha dos de electricidade específica;

- Sabendo o número de habitações existentes em 2000 e novas ao longo dos anos em estudo (INE, 2001b), das duas fracções separadas no ponto anterior, vai-se analisar apenas a fracção correspondente ao consumo nas habitações existentes em 2000.

O modelo apenas considera como emissores de CO<sub>2</sub> no sector residencial os quatro primeiros usos, pois as emissões derivadas da electricidade necessária para a electricidade específica (restantes dois componentes) são contabilizadas a montante, nas centrais termoeléctricas. As emissões provenientes da electricidade consumida nos usos de aquecimento e arrefecimento de espaço e de AQS, também são contabilizadas a montante do sector residencial.

Para o cálculo das emissões provenientes do consumo de electricidade específica e consumida na cozinha de todas as habitações foi necessário calcular o factor de emissão (em kt de CO<sub>2</sub>/PJ produzido). Este factor corresponde ao quociente entre as emissões de CO<sub>2</sub> geradas pelo modelo, e a quantidade de electricidade produzida para cada cenário e cada ano estudado.

O Quadro 3.9 representa os factores de emissão gerados pelo modelo ao longo dos anos.

Quadro 3.9. Factores de emissão gerados pelo modelo ao longo dos anos para cada cenário.

		SR	Quioto	0%	-20%
Factor de emissão (kt de CO <sub>2</sub> /PJ)	2000	150			
	2010	136	108	109	112
	2020	148	128	37	30

O factor de emissão, para cada ano, apresenta uma tendência decrescente ao longo dos cenários, devido à participação crescente de FER - eólica, hídrica e resíduos sólidos urbanos - para a produção de electricidade, como se pode verificar na Figura 4.30. Por exemplo, em 2020 as FER correspondem, face ao cenário mais restritivo, a 78% de toda a energia utilizada para produção de electricidade.

Assim, as emissões de CO<sub>2</sub> indirectas associadas à electricidade consumida no sector residencial para a satisfação dos consumos de iluminação, cozinha e da restante electricidade específica são estimadas com base neste factor de emissão. Este processo é realizado para os quatro cenários estudados e para os anos de 2000, 2010 e 2020, recorrendo ao factor de emissão correspondente a cada ano.

Para se calcular as emissões de CO<sub>2</sub> associadas ao consumo de electricidade para aquecimento e arrefecimento de espaço, e de AQS, procede-se da mesma forma como para os usos de cozinha (com recurso ao factor de emissão).

## 4 Resultados e Discussão

Neste capítulo são apresentados os resultados, sobre o potencial de poupança de energia nas habitações até ao ano 2000, obtidos através do modelo TIMES\_PT, para os quatro cenários estudados – cenário sem restrições (SR), Quioto, 0% e -20%. São estudados e avaliados os resultados da procura de energia para os respectivos usos, e é avaliado o potencial de poupança energética no parque habitacional existente em 2000. Nesta última secção é feita uma análise das tecnologias seleccionadas pelo modelo para o ano 2020, da energia final necessária para o funcionamento das tecnologias, bem como das respectivas emissões associadas.

E realizada uma comparação entre os quatro cenários estudados, relativamente: ao custo associado ao investimento nas tecnologias seleccionadas, e às emissões evitadas. Para aprofundar o estudo da relação custo-eficácia das tecnologias de *retrofitting*, isolamento, é realizada uma análise de sensibilidade ao modelo face às tecnologias de isolamento.

### 4.1 Caracterização da Procura de Serviços de Energia no Sector Residencial

Nesta secção é apresentado o perfil de procura de serviços de energia do sector residencial, considerado no modelo TIMES\_PT, nomeadamente para: 1) aquecimento de espaço; 2) arrefecimento de espaço; 3) AQS; 4) cozinha; 5) Iluminação e 6) restante electricidade específica.

Uma vez que neste trabalho se pretende avaliar um potencial de poupança energética, como foi referido anteriormente, a elasticidade procura-preço foi considerada nula. Deste modo, a procura de energia não varia ao longo de todos os cenários do mesmo ano. A Figura 4.1 representa a procura de serviços de energia pelos vários usos, para o ano base, para 2010 e para 2020.

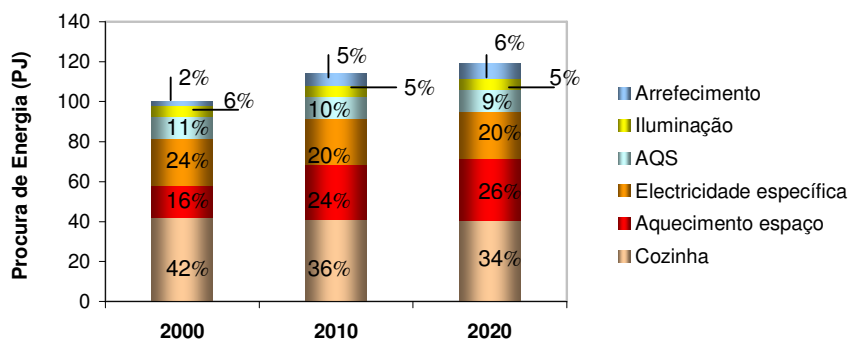


Figura 4.1. Procura de serviços de energia por tipo de uso no ano base, em 2010 e em 2020 para o parque existente em 2000.

Os usos de aquecimento e arrefecimento de espaço são os que mais aumentam os seus valores de procura ao longo dos 20 anos, registando-se um forte aumento de 2000 para 2010 (71 e 43% respectivamente). Face a estes aumentos de procura, verifica-se que os usos de cozinha e de



electricidade específica apresentam uma procura de energia decrescente ao longo dos vinte anos estudados.

A Figura 4.2 representa a distribuição da procura de serviços de energia por cada uso em 2010 e em 2020. Nas utilizações de climatização e AQS encontram-se evidenciados os diferentes tipos de habitação; nos restantes usos o valor da procura corresponde à totalidade dos edifícios.

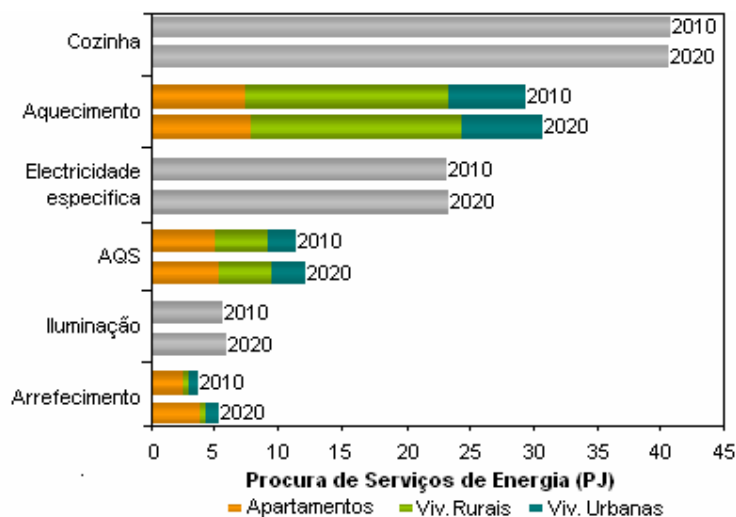


Figura 4.2. Procura de serviços de energia para o ano de 2010 e 2020 no parque existente em 2000.

Para o ano 2010, a procura de serviços de energia para a cozinha é de 40,9PJ, para o aquecimento de espaço é de 29,4 PJ no total das habitações e para a electricidade específica é de 23,1PJ. A procura de AQS é de 11,5PJ para o total das habitações, de iluminação é de 5,7PJ e o sector menos procurado é o arrefecimento de espaço com 3,7PJ de procura de serviços de energia para o total dos três tipos de habitação.

Entre 2010 e 2020 verifica-se que o maior aumento de procura de serviços de energia corresponde ao sector do arrefecimento de espaço, que aumenta 47% de 2010 para 2020, enquanto que o aquecimento de espaço e de águas aumentam 5% em todo o tipo de habitações. Os sectores de electricidade específica e iluminação aumentam respectivamente 1,4 e 3,7%, enquanto que a procura de energia para tecnologias de cozinha diminui 0,4%.

Para uma correcta análise da procura dos sectores de cozinha, iluminação e a restante electricidade específica foi necessário fazer uma conversão relativa ao número de casas envolvidas, uma vez que os valores originais não separam habitações existentes em 2000 das novas habitações. Para além do apuramento das casas existentes, é necessário analisar a evolução do parque habitacional português existente ao longo dos anos, realizado na secção 3.2.2 do presente trabalho.

Torna-se útil verificar a procura média de serviços de energia por habitação (Quadro 4.1) para os dois anos em estudo, dividindo o valor de procura de serviços de energia pelo número de edifícios existentes em 2000, no ano 2000, 2010 e 2020, (INE, 2001b). Para este cálculo

pressupõe-se uma procura de serviços de energia homogénea quer se trate de uma vivenda ou apartamento.

Quadro 4.1. Procura de serviços de energia por habitação no ano base, em 2010 e 2020.

	2000		2010		2020	
	(GJ)	(kWh)	(GJ)	(kWh)	(GJ)	(kWh)
Arrefecimento	0,4	97,2	1,1	313,9	1,4	397,2
Iluminação	1,1	308,3	1,1	313,8	1,2	325,0
Águas Quentes Sanitárias	2,2	608,3	2,1	594,4	2,2	602,8
Electricidade específica	4,7	1850,0	4,6	1275,0	4,7	1291,7
Aquecimento de espaço	3,1	869,4	5,5	1519,4	6,1	1697,2
Cozinha	8,3	2316,7	8,1	2250,0	8,1	2241,7

Conclui-se, deste modo, que a procura de serviços de energia por habitação aumenta consideravelmente no período de tempo de 20 anos estudado, com apenas uma excepção – sector de cozinha – em que a procura diminui de 2000 para 2010 e ligeiramente de 2010 para 2020.

### Validação da Procura de serviços de energia gerada pelo modelo

Para validar os valores de procura de serviços energéticos gerados pelo modelo, os mesmos foram comparados com os valores máximos de procura admissíveis constantes no Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE). Os resultados finais encontram-se no Quadro 4.2, sendo que os cálculos auxiliares podem ser consultados no anexo V.

Quadro 4.2. Comparação da procura de serviços de energia gerada pelo modelo com os valores máximos admissíveis segundo o RCCTE.

	Procura de serviços de energia (kWh/m <sup>2</sup> .ano)	
	TIMES_PT (2010)	RCCTE
Aquecimento de espaço	21,5	84,2
Arrefecimento de espaço	4,5	29,0
AQS	6,0	33,1

Verifica-se que os valores de procura de serviços de energia gerados pelo modelo TIMES\_PT são muito inferiores aos limites máximos admissíveis para os três usos em questão, encontrando-se dentro do limite esperado. No entanto, se a comparação for feita com um estudo do Centro de Estudos de Economia, Energia, Transportes e Ambiente (CEEETA, 2003), verificam-se procuras de serviços de energia muito semelhantes aos resultados do modelo TIMES\_PT, que estão enunciadas no Quadro 4.3.

Quadro 4.3. Comparação da procura de serviços de energia gerada pelo modelo com os valores máximos admissíveis segundo o CEEETA.

CEEETA	Procura de serviços de energia (kWh/m <sup>2</sup> )
Aquecimento de espaço	28
Arrefecimento de espaço	4,2
AQS	18,8

## 4.2 Potencial de Poupança Energética no Parque Habitacional Existente em 2000

Neste capítulo descrevem-se os resultados, sobre o potencial de poupança de energia nas habitações existentes no ano 2000, obtidos com o modelo TIMES\_PT face aos quatro cenários estudados – Sem Restrições (SR), Quioto, 0% e -20%.

São considerados todos os usos energéticos do sector residencial quanto: ao seu consumo de energia final, ao perfil tecnológico seleccionado pelo modelo, e às emissões provenientes do sector residencial face à utilização de energia. Será também feita uma análise comparativa dos cenários estudados.

### 4.2.1 Análise do consumo de Energia Final

Esta análise é efectuada para o aquecimento de espaço e águas e para arrefecimento de espaço para os três tipos de parque residencial – prédios, vivendas rurais e vivendas citadinas – e para os quatro cenários estudados. A apresentação de resultados está feita por tipo de energia final. A Figura 4.3 refere-se ao consumo de energia final nos apartamentos, a Figura 4.4 nas vivendas rurais e a Figura 4.5 nas vivendas urbanas.

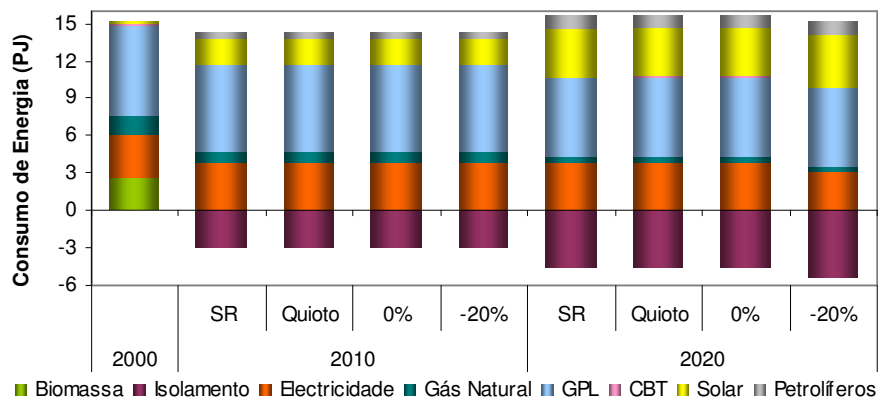


Figura 4.3. Consumo de energia final nos apartamentos.

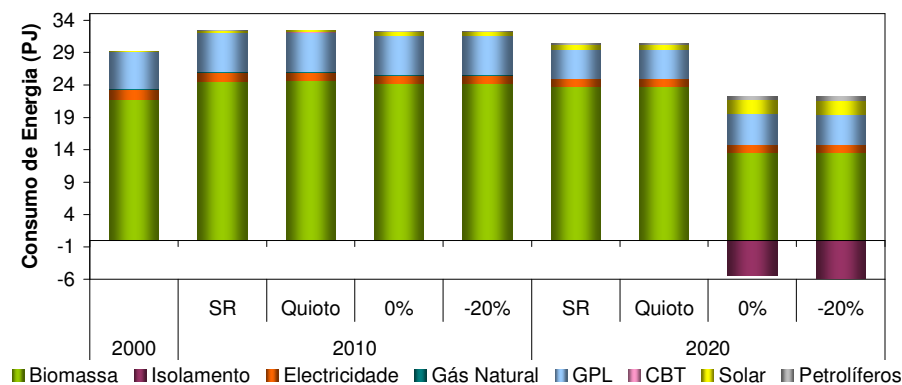


Figura 4.4. Consumo de energia final nas vivendas rurais.

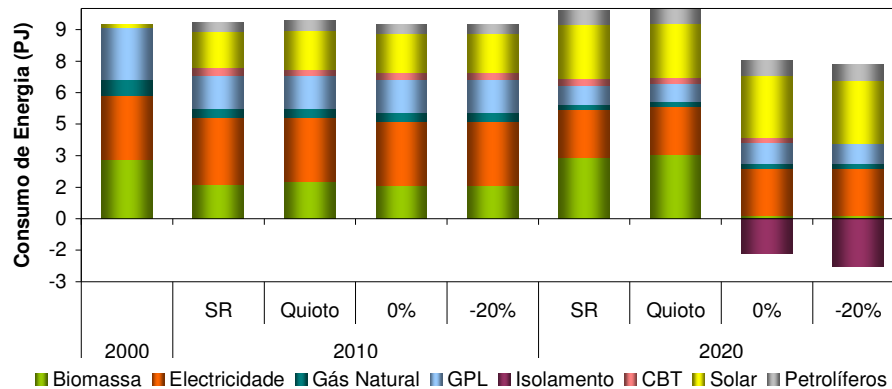


Figura 4.5. Consumo de Energia final nas vivendas urbanas.

Nos prédios e nas vivendas urbanas verifica-se uma distribuição homogénea das fontes de energia final, enquanto que nas vivendas rurais a biomassa contribui com 74% de toda a energia final, diminuindo para 50% em 2020 face aos cenários 0% e -20%. A diminuição de biomassa nestes dois cenários acontece também nas vivendas urbanas e deve-se ao facto do modelo, face a fortes restrições de CO<sub>2</sub>, reservar a biomassa para processos de indústria química, cerâmica e alimentar. Verifica-se que as tecnologias de isolamento são consideradas nos prédios para 2010 e 2020 em todos os cenários, mas nas vivendas as mesmas são competitivas apenas em 2020 face aos cenários 0% e -20%. A energia solar é considerada maioritariamente nos apartamentos e vivendas urbanas, por nas vivendas rurais a biomassa ser muito competitiva.

Seguidamente é feita a análise conjunta com todos os tipos de habitações portuguesas, existentes no ano 2000, face ao consumo de energia para aquecimento e arrefecimento de espaço, e para AQS. A Figura 4.6 representa a evolução do consumo de energia final para aquecimento de espaço e águas e para arrefecimento no ano base, em 2010 e em 2020, em todos os cenários estudados.

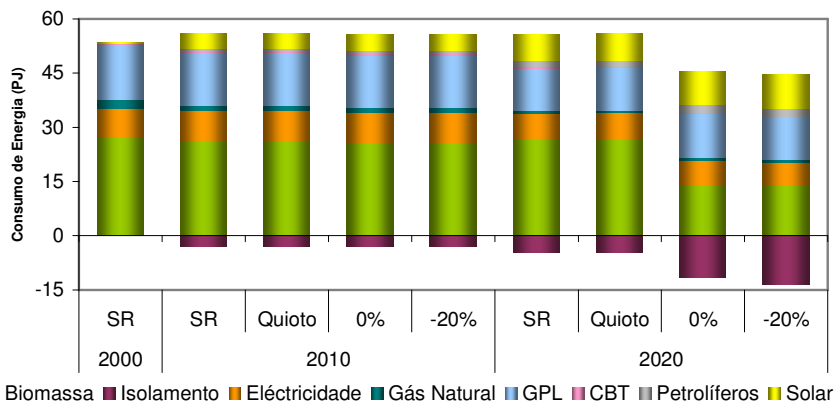


Figura 4.6. Consumo de energia final para fornecimento de calor e frio em todas as casas existentes em 2000.

No ano base a fonte de energia mais utilizada é a biomassa (51% do total consumido). O GPL representa 28% do total e a electricidade 15%. O gás natural, o Calor de Baixa Temperatura (CBT) e o solar contribuem com 5%, 0,3% e 0,9% respectivamente.

Em todos os cenários estudados verifica-se que a fonte de energia biomassa encontra-se sempre presente, sendo a fonte de energia com maior representação a nível de consumo em todos os cenários excepto para 2020 face aos cenários 0% e -20%.

A energia solar sofre um forte incremento ao longo dos anos estudados, representando em 2010 8% do total de energia consumida para os referidos usos, valor que aumenta para 20% em 2020 face aos dois cenários mais restritivos. Todas as tecnologias de isolamento são seleccionadas pelo modelo, notando-se um forte incremento das tecnologias de *Retrofitting* em 2020 face aos cenários 0% e -20%.

### Consumo dos restantes usos – Cozinha, Iluminação e restante Electricidade Específica

Para a análise dos restantes sectores foi necessário proceder à metodologia enunciada na secção 3.2.5, de modo a obter-se o consumo de energia apenas das habitações existentes no ano 2000. A Figura 4.7 representa o consumo de energia final pelos usos de cozinha, de iluminação e de electricidade específica das habitações existentes em 2000. Não se verificam alterações entre os quatro cenários estudados.

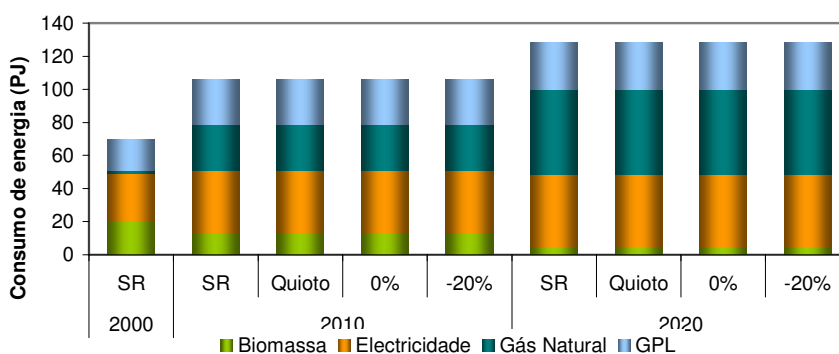


Figura 4.7. Consumo de Energia final de processos de electricidade específica e cozinha das habitações existentes em 2000.

A electricidade é consumida em todos os usos estudados, enquanto todas as outras fontes de energia final provêm apenas de usos de cozinha. Entre 2010 e 2020 verifica-se um forte aumento (14%) da contribuição do gás natural em detrimento do decréscimo de consumo de biomassa, que passou de uma contribuição de 13% em 2010 para 3% em 2020. Este decréscimo deve-se à diminuição do consumo de biomassa (em 70% de 2010 para 2020) para preparação de alimentos, enquanto que o gás natural aumentou a sua contribuição em 30%.

A Figura 4.8 desagrega o consumo de energia final para os usos de cozinha, iluminação e restante electricidade específica, tornando possível verificar a relação de consumo entre os mesmos usos. Na globalidade, de 2010 para 2020, o consumo de energia no sector de cozinha aumentou

34% e o sector de iluminação diminuiu o seu consumo em 20% devido à adopção de lâmpadas de alta eficiência em todos os cenários para 2020. Apesar do grau de eficiência dos electrodomésticos seleccionados pelo modelo para 2020, o consumo de energia necessária aumentou em 15% de 2010 para 2020.

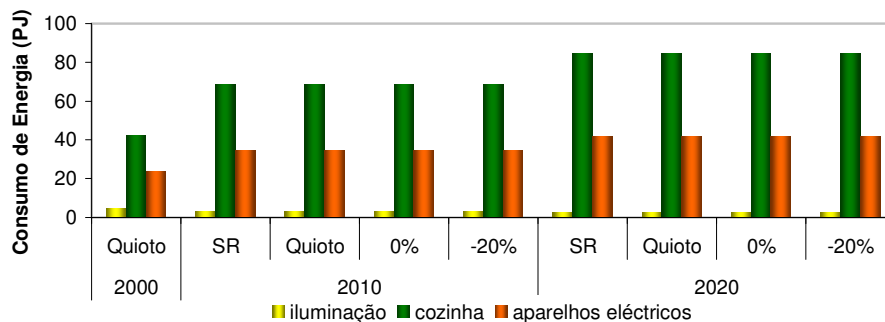


Figura 4.8. Consumo de electricidade específica e cozinha nas casas existentes em 2000.

### Consumo global de energia final de todos os usos de energia

Realizando-se uma apreciação global sobre o consumo de energia final em todas as habitações portuguesas existentes em 2000 (Figura 4.9), verifica-se que o consumo de biomassa decrescerá ao longo dos anos estudados, enquanto que o consumo de gás natural terá tendência para aumentar. Em 2010 e 2020, em todos os cenários, são seleccionadas tecnologias de isolamento, consideradas para aquecimento de espaço, com um forte incremento nos dois cenários mais restritivos de 2020. O consumo de energia solar, maioritariamente utilizada para o aquecimento de águas quentes sanitárias, sofre um incremento ao longo dos anos estudados; no entanto, entre os quatro cenários estudados, apenas se verificam diferenças face ao ano 2020.

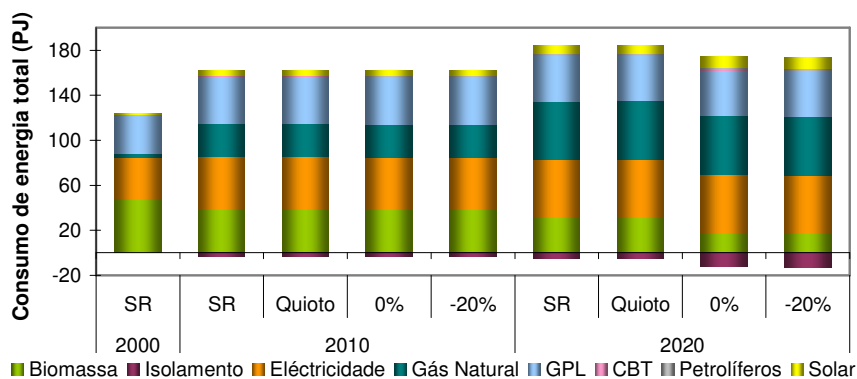


Figura 4.9. Consumo de energia final em todo o parque habitacional existente em 2000 para todos os tipos de uso.

## 4.2.2 Análise do Perfil Tecnológico de todos os usos energéticos existentes no sector residencial<sup>1</sup>

Nesta secção é feita a análise das tecnologias seleccionadas pelo modelo para o ano 2020, nos quatro cenários estudados. É analisada a soma dos consumos de energia dos três tipos de habitações – apartamentos, vivendas rurais, e urbanas – e individualmente para cada tipo. A análise é feita separadamente para cada tipo de uso de energia do sector residencial - arrefecimento de espaço, aquecimento de espaço, AQS, cozinha, iluminação e restante electricidade específica (electrodomésticos).

### Arrefecimento de Espaço

Seguidamente, na Figura 4.10 apresenta-se o consumo de energia pelas tecnologias de arrefecimento escolhidas pelo modelo para o ano 2020 no parque residencial existente em 2000. Estão englobados os três tipos de habitação.

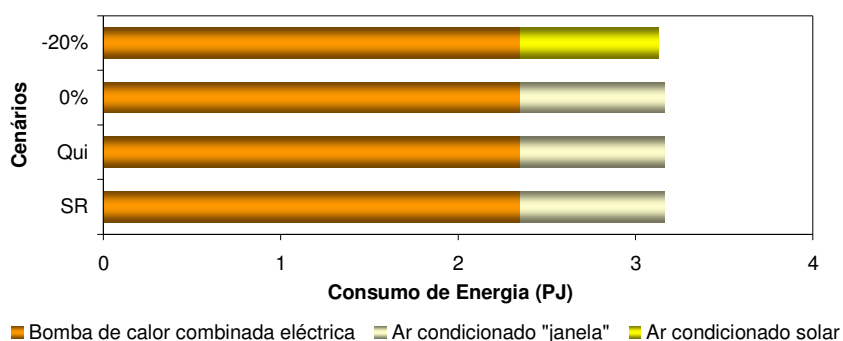


Figura 4.10. Consumo de energia pelas tecnologias de arrefecimento de espaço no ano 2020.

Nos três cenários menos restritivos o arrefecimento do sector residencial é produzido recorrendo em 65% a bombas de calor eléctricas combinadas - tecnologias de elevada eficiência e baixo custo – sendo a restante energia proveniente de equipamentos de ar condicionado “*janela*”.

Especificando por tipo de habitação, também nos três cenários menos restritivos, nas vivendas portuguesas todo o arrefecimento provém de bombas de calor, enquanto que nos apartamentos, além das bombas de calor, há 46% do arrefecimento de espaço que é cedido pela tecnologia de ar condicionado “*janela*”.

Face ao cenário mais restritivo o panorama nas vivendas mantém-se. Nos apartamentos predomina o consumo da bomba de calor, mas altera-se o tipo de ar condicionado, que passa a utilizar a energia solar, consumindo electricidade apenas em caso de necessidade de *backup*.

<sup>1</sup> Para uma melhor leitura, aconselha-se a consulta das características técnicas das tecnologias novas e respectivas curvas de oferta, disponíveis na base de dados do modelo TIMES\_PT, no Anexo I e II e IV.

É de notar que, face a qualquer cenário, a totalidade do arrefecimento nas vivendas é proveniente de bombas de calor eléctricas, que podem também, quando necessário, fornecer calor ao espaço habitado.

## Aquecimento de Espaço

O consumo de energia pelas tecnologias de aquecimento de espaço seleccionadas pelo modelo para o ano 2020, no parque residencial existente em 2000, está representado na Figura 4.11, estando englobados os três tipos de habitação.

A aplicação de tecnologias de isolamento gera poupanças no consumo de energia, motivo pelo qual o consumo de energia por parte das mesmas apresenta sinal negativo.

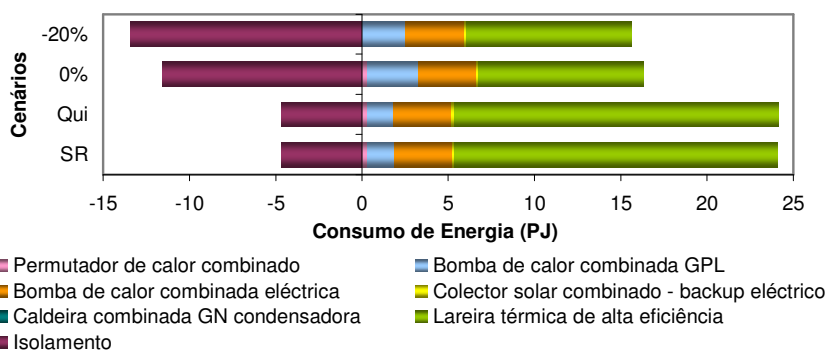


Figura 4.11. Consumo de energia pelas tecnologias de aquecimento de espaço no ano 2020.

A tecnologia mais utilizada nos cenários Sem Restrições e Quioto é a lareira térmica combinada de alta eficiência. No entanto, face a cenários mais restritivos, as tecnologias de isolamento competem com a lareira térmica, que diminui o seu consumo em 24%. No cenário 0%, a diminuição do contributo da lareira térmica é compensada pelo aumento do consumo da bomba de calor a GPL. No entanto, face à restrição de -20% verifica-se a diminuição do consumo destas duas tecnologias, em prol de uma maior utilização das tecnologias de isolamento.

É de notar que uma grande fatia é entregue às tecnologias de isolamento. Nos cenários SR e Quioto esta contribuição é de 16%, mas nos cenários restritivos esta contribuição é de 42% relativamente ao total de energia necessária no cenário 0%, e 46% no cenário -20%.

De modo a analisar a penetração das tecnologias de aquecimento de espaço com mais detalhe, nomeadamente as de isolamento, seguidamente apresentam-se os gráficos relativos a cada tipo de habitação. As figuras seguintes ilustram, para 2020, o consumo de energia necessário para as tecnologias de aquecimento de espaço nos apartamentos (Figura 4.12), nas vivendas rurais (Figura 4.13) e nas vivendas urbanas (Figura 4.14) existentes em 2000.



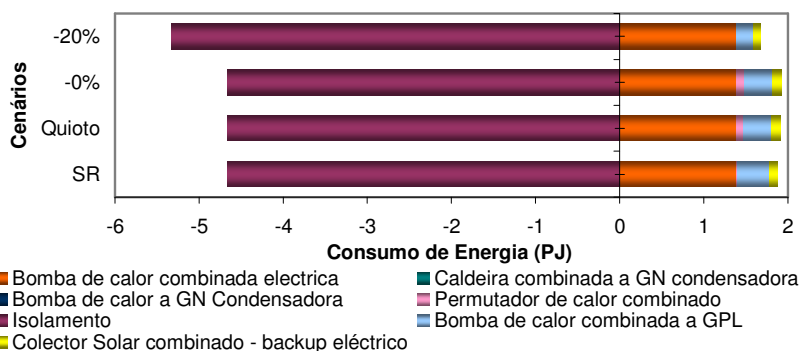


Figura 4.12. Consumo de energia pelas tecnologias de aquecimento de espaço nos apartamentos em 2020.

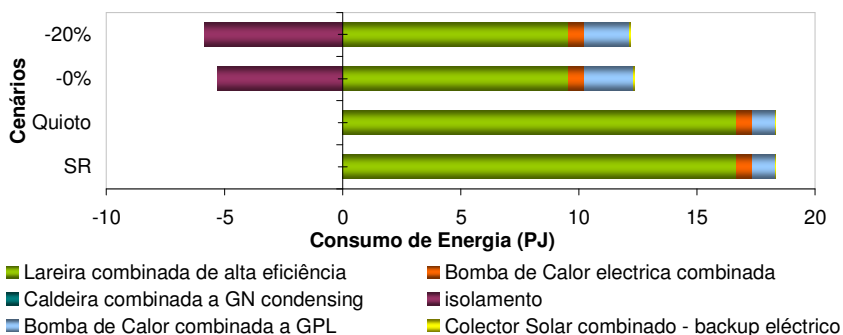


Figura 4.13. Consumo de energia pelas tecnologias de aquecimento de espaço nas vivendas rurais em 2020.

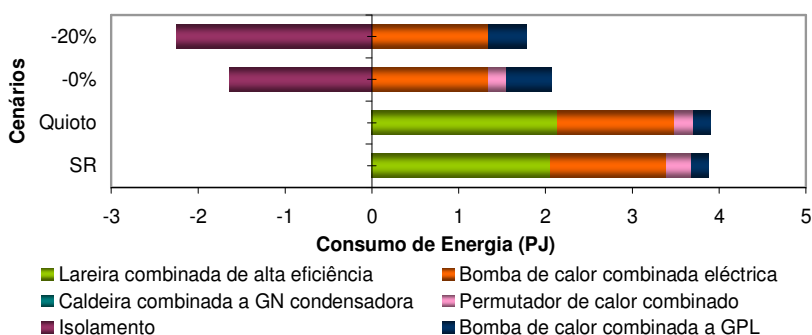


Figura 4.14. Consumo de energia pelas tecnologias de aquecimento de espaço nas vivendas urbanas em 2020.

Através da análise das três figuras verifica-se que o perfil tecnológico para aquecimento de espaço varia consoante o tipo de habitação. As tecnologias de isolamento nas vivendas rurais e urbanas apenas são consideradas face aos dois cenários mais restritivos, rondando os 30% nas vivendas rurais, e 44 e 56% respectivamente nos cenários 0% e -20% nas vivendas urbanas. No entanto nos apartamentos as tecnologias de isolamento são altamente competitivas, representando 71% de toda a energia necessária para aquecimento nos três primeiros cenários, e 76% face ao cenário mais restritivo.

Nas vivendas rurais as lareiras de alta eficiência consomem grande parte da energia necessária para aquecimento de espaço, sendo que face aos cenários SR este valor é de 89% de toda a energia consumida para este uso. Como verificado anteriormente, esta tecnologia compete

com as tecnologias de isolamento, motivo pelo qual não é considerada nos apartamentos, e entra em menor quantidade nos cenários 0% e -20% nas vivendas rurais e urbanas.

É importante analisar quais as tecnologias de isolamento seleccionadas pelo modelo nos diversos cenários estudados. A Figura 4.15 representa o cenário não restritivo (SR) e o cenário mais restritivo no ano 2020 (-20%). A diferença centra-se apenas na troca de um ponto percentual entre isolamento de paredes interior e isolamento de janelas com vidros de baixa emissividade.



Figura 4.15. Distribuição das tecnologias de isolamento no ano 2020 no cenário sem restrições (a) e no cenário de -20% de emissões de CO<sub>2</sub> (b).

## Aquecimento de Águas Sanitárias

O consumo de energia pelas tecnologias de aquecimento de águas seleccionadas pelo modelo para o ano 2020, no parque residencial existente em 2000, está representado na Figura 4.16, estando englobados os três tipos de habitação.

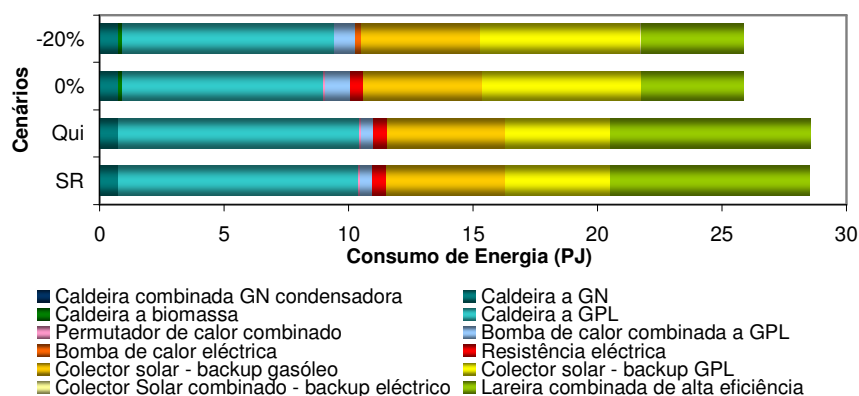


Figura 4.16. Consumo de energia pelas tecnologias de AQS no ano 2020.

Os colectores solares representam uma importante fatia do consumo total de energia para AQS. Consomem 32% de toda a energia consumida nos dois cenários menos restritivos e 45% nos restantes, fornecidos equilibradamente por colectores de *backup* a GPL e a gasóleo. A utilização do colector solar de aquecimento de espaço e águas com *backup* eléctrico é praticamente inexistente em todos os cenários. Verifica-se que a lareira combinada de alta eficiência compete com os

colectores solares, pois nos cenários 0% e -20%, o seu consumo diminui em prol do aumento do consumo de energia pelos colectores.

O consumo das tecnologias utilizadoras de GPL (bomba de calor combinada, que pode fornecer calor ao espaço e a água, e caldeira) mantém-se constante, em percentagem, ao longo de todos os cenários. Nos diferentes cenários, o consumo das bombas de calor varia de forma semelhante ao que acontece no aquecimento de espaço (Figura 4.13), sendo que o consumo da caldeira varia de forma a se manter o consumo de GPL exigido ao modelo.

Face ao cenário -20% o aquecedor eléctrico é substituído por uma bomba de calor eléctrica, que apesar de ser uma tecnologia mais cara é três vezes mais eficiente do que o aquecedor eléctrico. O permutador de calor combinado, tecnologia de eficiência reduzida, no cenário mais restritivo deixa de ser competitivo face ao aquecimento de espaço, motivo pelo qual deixa igualmente de ser considerado para AQS.

Globalmente, o consumo de energia necessário para a mesma procura de serviços de energia, diminui nos dois cenários mais restritivos. Este facto demonstra que as tecnologias seleccionadas para estes dois cenários possuem eficiências mais elevadas do que nos cenários SR e Quioto.

De modo a analisar com mais detalhe a contribuição da energia solar no aquecimento de águas sanitárias, apresentam-se seguidamente os gráficos relativos a cada tipo de habitação. A Figura 4.17 refere-se aos apartamentos, a Figura 4.18 às vivendas rurais e a Figura 4.19 às vivendas urbanas.

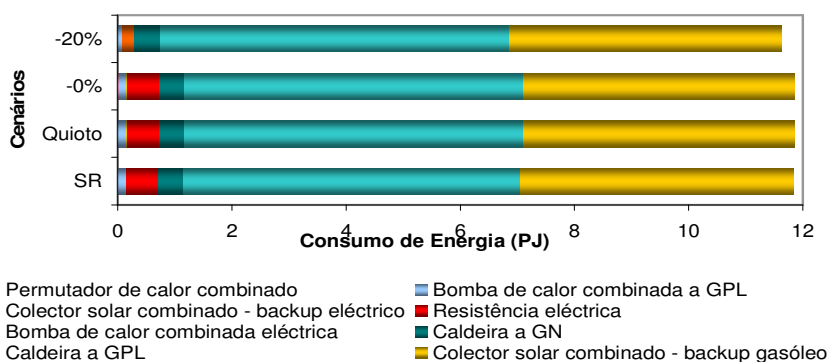


Figura 4.17. Consumo de energia pelas tecnologias de AQS nos apartamentos em 2020.

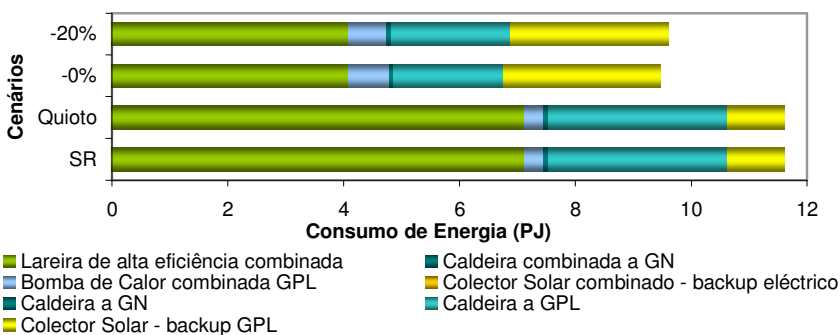


Figura 4.18. Consumo de energia pelas tecnologias de AQS nas vivendas rurais em 2020.

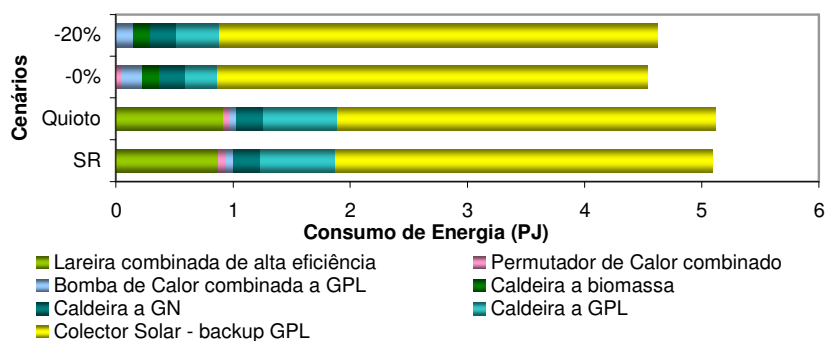


Figura 4.19. Consumo de energia pelas tecnologias de AQS nas viviendas urbanas em 2020.

A contribuição dos colectores solares para o consumo total de energia para AQS é superior nas viviendas urbanas do que em qualquer outro tipo de habitação, chegando aos 80% do consumo de energia total nos dois cenários mais restritivos, utilizando apenas a tecnologia de *backup* a GPL. As viviendas rurais são o tipo de habitação com menor consumo de energia solar, devido ao facto de haver grandes quantidades de biomassa disponíveis para estas habitações; a lareira combinada de alta eficiência é pois a tecnologia mais consumidora de energia para AQS nas viviendas rurais. No entanto, em todas as viviendas constata-se um acréscimo de consumo de energia solar dos cenários SR e Quioto, para os dois mais restritivos. Nos apartamentos não se verificam grandes diferenças entre todos os cenários, sendo os colectores solares consumidores de 40% do total de energia para AQS.

Verifica-se um forte consumo de energia por parte de caldeiras a GPL em todos os tipos de habitação, sendo maior o consumo nos apartamentos, por não se verificar consumo de biomassa. Nestas habitações, a bomba de calor a GPL apresenta um consumo menor do que nas viviendas, facto que é compensado por um aquecedor de resistência eléctrica nos três cenários menos restritivos e por uma bomba de calor eléctrica (tecnologia muito eficiente) no cenário -20%.

### Caracterização da energia necessária pelas tecnologias dos restantes usos domésticos no ano 2000

O panorama de consumo de energia pelas tecnologias de usos de cozinha, iluminação e restante electricidade específica não varia em 2010 e 2020 face aos cenários estudados. Por este motivo, os gráficos de caracterização tecnológica dos usos mencionados para 2020 são representativos de qualquer dos cenários estudados – Sem Restrições, Quioto, 0% e -20% de emissões de CO<sub>2</sub>. A Figura 4.20 representa as tecnologias de uso de cozinha, a Figura 4.21 de iluminação e a Figura 4.22 dos restantes usos de electricidade específica.

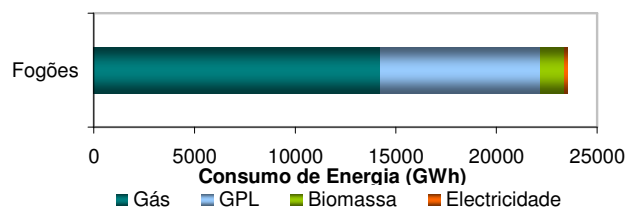


Figura 4.20. Consumo de energia pelas tecnologias de cozinha seleccionadas para o ano 2020.

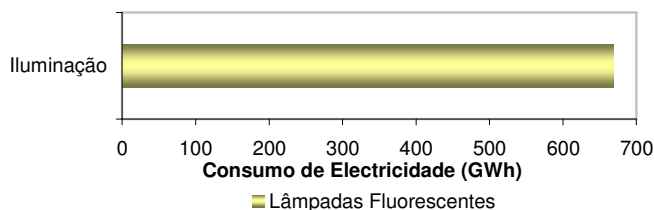


Figura 4.21. Consumo de energia pelos tipos de Iluminação consideradas para o ano 2020.

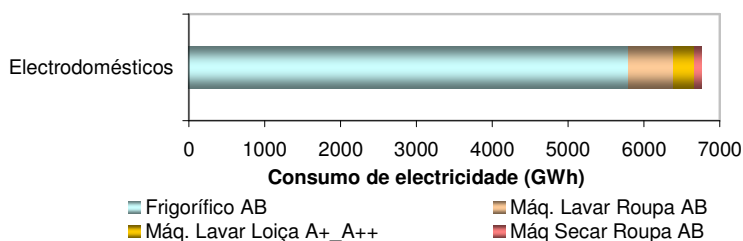


Figura 4.22. Consumo de energia pelas tecnologias de electricidade específica em 2020.

Verifica-se que o electrodoméstico mais consumidor de electricidade é o frigorífico, porque se encontra ligado na maioria dos casos todos os dias do ano e 24 horas por dia; deste modo, o modelo substitui os frigoríficos e congeladores existentes no ano base por aparelhos de eficiência de Classe A/B. A máquina de secar roupa é o aparelho que consome menos electricidade por ser o menos utilizado; no entanto juntamente com a máquina de lavar e secar roupa, estas são substituídas por máquinas mais eficientes. As máquinas de lavar loiça são substituídas por outras de eficiência A+ / A++. Já para usos de cozinha, o modelo opta por ceder a maior fatia de consumo ao fogão a gás natural com 60% (aumentou 32% desde 2010), sendo os restantes 34%, 5% e 1% correspondentes respectivamente ao fogão a GPL (diminuiu 15% desde 2010), a biomassa (diminuiu 73% desde 2010) e a electricidade (diminuiu 4%). Toda a iluminação é substituída por lâmpadas fluorescentes.

### 4.2.3 Poupança Energética

A análise de poupança energética realizada neste trabalho compara os resultados do modelo face aos cenários restritivos – Quioto, 0% e -20% – relativamente ao cenário sem restrições. A análise é dividida em duas partes:

1. Usos de aquecimento e arrefecimento de espaço e AQS – em que a análise é realizada individualmente para apartamentos, vivendas rurais e vivendas urbanas;
2. Usos de cozinha, iluminação e restante electricidade específica – em que não se faz distinção entre os tipos de habitação, sendo estudada a totalidade das habitações em conjunto.

Quanto aos usos de aquecimento, arrefecimento e AQS, as análises realizadas indicam que o potencial de poupança de energia varia consoante o tipo de habitação. Em 2010 não se verificam poupanças significativas, mas, em 2020, a poupança de energia chega aos 8PJ face ao cenário 0% e -20% nas vivendas rurais, e a 2,6PJ nas urbanas, como se pode ver na Figura 4.23.

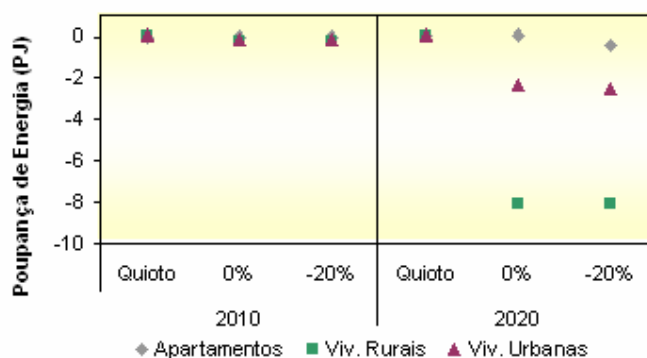


Figura 4.23. Poupança de energia verificada para os usos de aquecimento, arrefecimento e AQS.

Tendo em conta a energia consumida em cada cenário para usos de aquecimento, arrefecimento e AQS, os valores percentuais de poupança de energia obtidas em cada cenário relativamente ao cenário SR estão representadas no Quadro 4.4.

Quadro 4.4 – Percentagem de poupança de energia nos cenários Quioto, 0% e -20% face ao cenário SR nos anos 2010 e 2020.

	2010			2020		
	Quioto	0%	-20%	Quioto	0%	-20%
Apartamentos	-0.5	-0.2	-0.3	-0,5	-	-3,0
Vivendas rurais	-	-0.7	-0.7	-	-36.6	-36.8
Vivendas urbanas	-	-1.0	-1.0	-	-31.3	-35.0

Para 2010 não se verificam poupanças significativas de energia, enquanto que para 2020, como mencionado anteriormente, apenas se verificam poupanças de energia significativas face aos cenários 0% e -20%, correspondendo o potencial de redução máximo de 35% nas vivendas urbanas e 37% nas rurais, pois as tecnologias de isolamento passam a ser consideradas. Nos apartamentos

não se verificam níveis de poupança tão elevados entre os diferentes cenários pois, devido ao seu custo mais acessível, há uma forte penetração de tecnologias de isolamento em todos os cenários, como se pode verificar na Figura 4.12. Além da aplicação de tecnologias de isolamento, o potencial de poupança de energia resulta da fraca eficiência que caracteriza as tecnologias de aquecimento, arrefecimento e AQS do parque habitacional existente em 2000.

Quanto aos usos de cozinha, iluminação e restante electricidade específica, não se verifica qualquer poupança de energia entre os cenários, pois as tecnologias utilizadas mantêm-se na sua generalidade. Ou seja, mesmo no cenário sem restrições, o modelo TIMES\_PT, sendo um modelo de optimização, opta por adoptar equipamentos eficientes, já que são custo-eficazes. Assim, para além da melhoria da eficiência energética associada à substituição de equipamentos energéticos, uma maior poupança energética exige a adopção de práticas comportamentais de utilização racional de energia, enunciadas na secção 2.3 do presente trabalho, mas não modeladas no âmbito do Times\_PT.

#### 4.2.4 Análise das emissões de CO<sub>2</sub>

Nesta secção ir-se-á analisar as emissões de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) provenientes dos quatro cenários analisados, quer no ano base como nos dois anos de estudo: 2010 e 2020. As emissões directas e indirectas de CO<sub>2</sub> provenientes de processos de arrefecimento de espaço e de aquecimento de espaço e de águas estão representadas na Figura 4.24. Para cada cenário e para cada ano – 2000, 2010 e 2020 – as emissões por parte dos três tipos de habitação estão individualizadas.

É de notar que embora no modelo TIMES\_PT, as emissões indirectas - de electricidade - sejam contabilizadas no seu processo de produção nas centrais eléctricas, e não no sector residencial, estão consideradas nesta análise. De acordo com a metodologia enunciada na secção 3.2.5, os factores de emissão usados estão representados no Quadro 3.9.

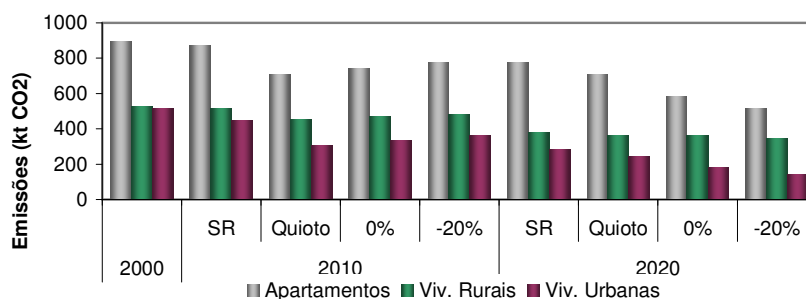


Figura 4.24. Emissões de CO<sub>2</sub> provenientes de processos de aquecimento e arrefecimento em cada tipo de habitação.

Para a análise deste gráfico é necessário comparar os resultados com os gráficos de consumo de energia final para cada tipo de habitação, face aos diversos cenários. Os apartamentos são as habitações mais emissoras de CO<sub>2</sub> pois representam 46% do total das habitações existentes

em 2000, e além de gás natural, consomem uma grande quantidade de GPL (46 e 32% do consumo total de energia para estes usos respectivamente em 2010 e 2020, com consumos na ordem dos 6 e 5 PJ). As vivendas rurais, 38% das habitações, consumindo essencialmente biomassa, e entre 4 e 3 PJ de GPL em 2010 e 2020 respectivamente, produzem emissões inferiores às dos apartamentos. As vivendas urbanas são o tipo de habitação menos emissora de CO<sub>2</sub> pois além de representarem apenas 15% do total de casas, uma grande parte da energia que consomem para aquecimento e arrefecimento é de origem renovável.

As emissões provenientes dos usos de cozinha, de iluminação e restante electricidade específica não se encontram individualizadas por tipo de habitação, pois estes usos estão modelados no TIMES\_PT globalmente, sem se considerar o factor: tipo de habitação. A Figura 4.25 representa as emissões das tecnologias de uso de cozinha no parque residencial estudado, sendo as fontes de energia consideradas o gás natural, o GPL e a electricidade, uma vez que a biomassa utilizada não liberta emissões.

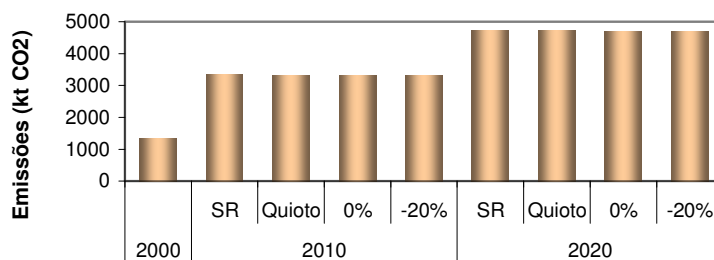


Figura 4.25. Emissões provenientes de usos de cozinha nas habitações existentes em 2000.

Para a preparação de alimentos, o consumo de energia aumenta em 42% de 2010 para 2020, devido, principalmente, ao decréscimo de consumo de biomassa para este uso. Uma vez que o panorama de consumo não varia nos diferentes cenários do mesmo ano, será de esperar que as emissões também se mantenham. No entanto, em 2020 as emissões diminuem com o aumento da restrição de CO<sub>2</sub>, pois a electricidade consumida proveniente de energia renovável também aumenta, como se pode ver mais à frente na Figura 4.30. Este decréscimo não é perceptível na Figura 4.25 pois o consumo de electricidade para usos de cozinha é apenas de 1% em ambos os anos estudados.

Após a aplicação da metodologia enunciada na secção 3.2.5, foram calculadas as emissões resultantes do consumo de electricidade proveniente de usos de cozinha, electricidade específica e iluminação (Figura 4.26). Em 2010, verifica-se o crescimento das emissões indirectas com o aumento do grau de restrição dos cenários. Este facto é devido à contribuição crescente do carvão, combustível muito poluente, para a produção de energia eléctrica, como se verifica na Figura 4.30. O motivo pelo qual em 2020 as emissões diminuem consideravelmente, prende-se com o facto da contribuição de energia renovável para a produção de electricidade ser crescente ao longo do aumento das restrições de CO<sub>2</sub> em 2020.



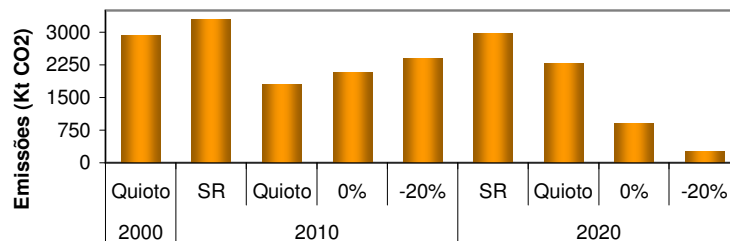


Figura 4.26. Emissões indirectas provenientes da electricidade dos sectores de cozinha, electricidade específica e iluminação.

A Figura 4.27 representa as emissões de CO<sub>2</sub> provenientes dos restantes processos domésticos – cozinha, iluminação e restante electricidade específica (electrodomésticos).

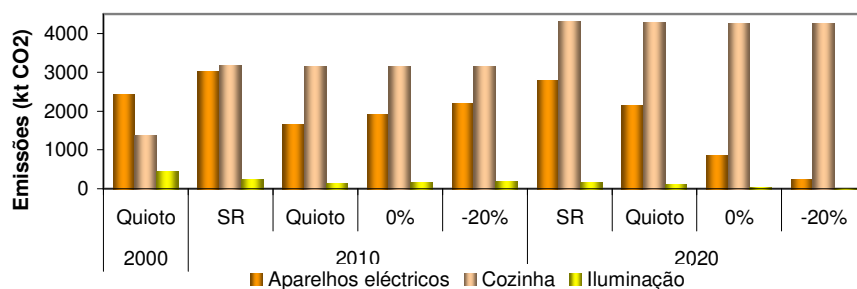


Figura 4.27. Emissões de CO<sub>2</sub> provenientes dos usos de cozinha, iluminação e electricidade específica nas habitações existentes.

Enquanto que para 2020 as emissões derivadas dos usos de iluminação e aparelhos eléctricos diminuem com o aumento do grau de restrição dos cenários, nos usos de cozinha não se verifica qualquer redução de emissões, sendo mesmo superiores às emissões em 2010, pois o consumo de energia para a produção de alimentos de 2010 para 2020 aumentou 24%.

A dificuldade em reduzir as emissões provenientes de usos de cozinha provém do facto de a contribuição da fonte de energia biomassa, nula em emissões, para este uso ter tendência para decrescer ao longo dos anos, sendo obrigatoriamente substituída por outras fontes de energia emissoras de CO<sub>2</sub>, como o GPL e o gás natural.

### Emissões de CO<sub>2</sub> Agregadas

Com o objectivo de analisar globalmente as emissões provenientes de todos os usos do parque residencial existente no ano 2000, segue-se a Figura 4.28. Esta representa a totalidade de emissões de CO<sub>2</sub>, em todos os cenários estudados, de todos os processos emissores do sector residencial no parque existente em 2000.

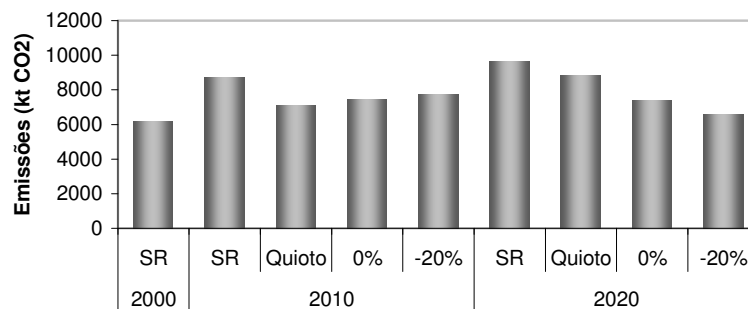


Figura 4.28. Emissões totais de CO<sub>2</sub> do sector residencial, incluindo directas e indirectas.

Como foi referido na secção 3.2.2 do presente trabalho as restrições de CO<sub>2</sub> contidas nos cenários são aplicadas à totalidade dos sectores energéticos portugueses, e não exclusivamente ao sector residencial.

Verifica-se que para o ano 2010 as emissões não diminuem face ao aumento do grau de restrição imposta ao modelo. No ano de 2020 a exigência do grau de restrição é proporcional à diminuição de emissões, facto que seria de esperar. No entanto, globalmente, devido ao aumento das exigências energéticas nas habitações ao longo dos anos, não se verifica uma diminuição de emissões neste sector face ao ano base do modelo.

Para melhor compreender os motivos do facto enunciado anteriormente, a Figura 4.29 ilustra as emissões de todos os sectores energéticos portugueses, face aos resultados do modelo TIMES\_PT. É de notar que nesta figura, o sector residencial não abrange as emissões eléctricas, que estão englobadas no sector de produção de electricidade.

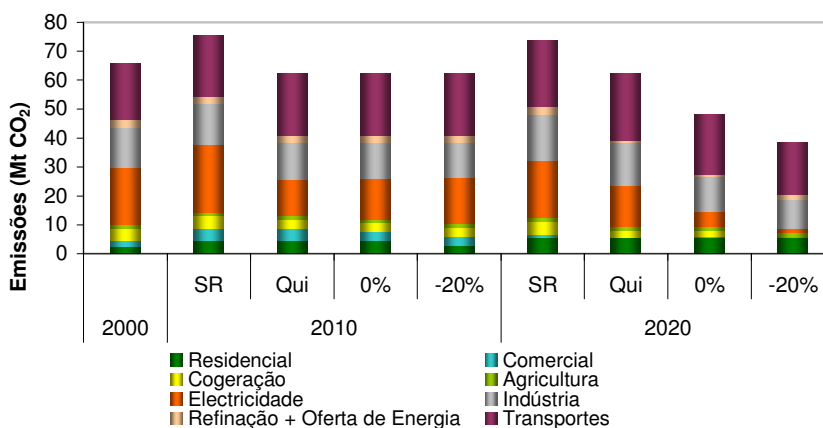


Figura 4.29. Emissões de todos os sectores energéticos portugueses.

Analisando a diferença de emissões registadas entre o cenário SR e o -20%, no ano 2010 todos os sectores diminuem as suas emissões. Em 2020 apenas o sector residencial regista um aumento das suas emissões entre os dois cenários, verificando-se, nos restantes sectores, uma redução generalizada das mesmas, como mostra o Quadro 4.5.

Quadro 4.5. Variação de emissões entre os cenários SR e -20%, em 2010 e 2020 para sectores energéticos.

Varição (%)	Residencial	Comercial	Cogeração	Produção de Electricidade	Indústria	Refinação + oferta de energia	Transportes
2010	-30.4	-31.7	-26.7	-32.3	-14.5	0	0
2020	0.4	-88.2	-100.0	-92.5	-36.6	-29.9	-22.0

Além do sector da cogeração, que face ao cenário mais restritivo em 2020 deixa de produzir emissões, o sector de produção de electricidade é onde se nota uma maior diminuição das emissões ao longo dos anos e dos cenários estudados, pois a electricidade passa a ser predominantemente renovável, como se pode verificar na Figura 4.30.

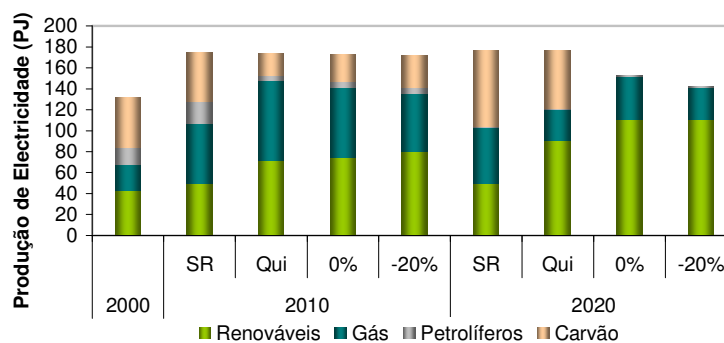


Figura 4.30. Produção de Electricidade a partir de fontes de energia renováveis e não renováveis.

A contribuição das fontes de energia renováveis, face às restantes fontes de energia utilizadas para a produção de electricidade, aumenta ao longo dos anos, consoante o aumento do grau de restrição dos cenários. As FER – eólica, hídrica e resíduos sólidos urbanos – correspondem em 2020, face ao cenário mais restritivo, a 78% de toda a energia utilizada para produção de electricidade. Mais de 2/3 deste valor é proveniente de energia hídrica, que, juntamente com a eólica perfazem 98% da energia renovável considerada nesta análise.

Ao contrário das fontes de energia renovável, que registam uma crescente contribuição para a produção de energia eléctrica, o carvão e os produtos petrolíferos em 2020 diminuem a sua contribuição, deixando mesmo de ser considerados face aos cenários 0% e -20%.

#### 4.2.5 Análise de Custos e Respectivas Emissões Evitadas

Esta análise compara os custos de investimento de cada cenário e as respectivas emissões evitadas em 2020, para o sector residencial, englobando as emissões directas e indirectas.

A Figura 4.31 e o Quadro 4.6 representam a variação de custos de investimento e as emissões evitadas nos três tipos de habitação para cada cenário estudado face ao cenário sem restrições para os usos de aquecimento e arrefecimento de espaço e para AQS, para o ano 2020.

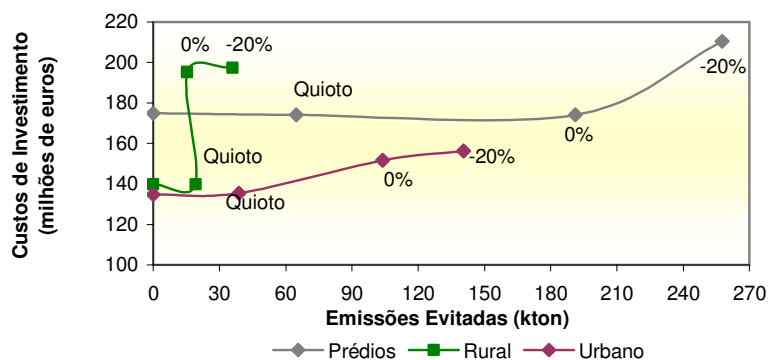


Figura 4.31. Comparação entre a redução de CO<sub>2</sub> e respectivos custos de investimento para os usos de aquecimento e arrefecimento e AQS no ano de 2020.

Quadro 4.6. Emissões Poupadas e respectivos custos para o ano 2020

		Apartamentos	Viv. Rurais	Viv. Urbanas
SR	Custo (M€)	174,8	139,9	134,7
	Emissões (kt CO <sub>2</sub> )	0	0	0
Quioto	Custo (M€)	174,2	139,9	135,4
	Emissões (kt CO <sub>2</sub> )	64,8	60,5	38,8
-0%	Custo (M€)	174,1	195,3	151,6
	Emissões (kt CO <sub>2</sub> )	191,1	45,9	103,9
-20%	Custo (M€)	174,1	195,3	151,6
	Emissões (kt CO <sub>2</sub> )	257,6	34,7	140,6

No ano 2020 entre o cenário SR e o Quioto as vivendas rurais e urbanas apresentam custos de investimento semelhantes. No entanto, é de notar que face ao cenário de -0% de emissões, enquanto nas vivendas urbanas se verifica um aumento gradual e ligeiro de custos de investimento associados, nas rurais este aumento é muito pronunciado passando de 140 para 195 milhões de euros face a uma poupança de emissões inferior à verificada no cenário Quioto. Para quaisquer dos tipos de habitação, o cenário -20% é o que tem a capacidade de evitar maior quantidade de emissões de CO<sub>2</sub>. O investimento adicional realizado face ao cenário Quioto é quase nulo, e compensado por redução de emissões em todas as habitações. Nas vivendas urbanas o custo de redução de CO<sub>2</sub> para os restantes cenários é muito dispendioso e pouco eficiente, enquanto que nos apartamentos o cenário 0% não apresenta qualquer custo adicional face ao SR, permitindo poupar 190kt de CO<sub>2</sub>.

O custo unitário de redução de CO<sub>2</sub> varia consoante o tipo de habitação. Nas vivendas rurais a relação custo/redução de emissões é muito elevada (5,6 M€/kt CO<sub>2</sub> reduzida). Em contrapartida, nos apartamentos esse quociente é bastante reduzido (0,7 M€/kt CO<sub>2</sub> reduzida), provando-se assim que é extremamente benéfico investir neste último sector, bem como nas vivendas urbanas (1,1€ M€/kt CO<sub>2</sub> reduzida).

A análise dos custos de investimento associados aos cenários e as respectivas poupanças evitadas, relativamente aos usos de cozinha, iluminação e restante electricidade específica estão ilustrados na Figura 4.32.

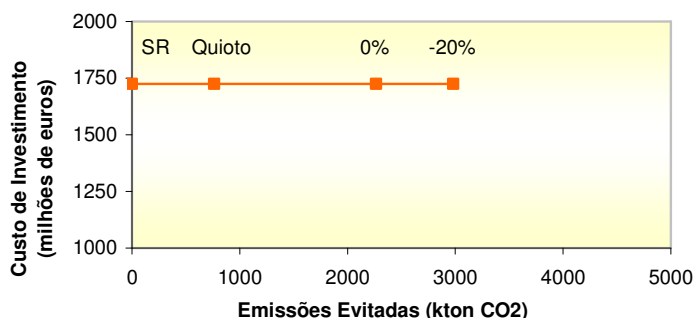


Figura 4.32. Comparação entre a redução de CO<sub>2</sub> e respectivos custos de investimento para os usos de cozinha, iluminação e restante electricidade específica.

Relativamente aos restantes usos – de cozinha, iluminação e restante electricidade específica - verifica-se que, qualquer que seja a meta de redução de emissões, o custo de investimento não varia, sendo de 1750 milhões de euros em 2020. O máximo de emissões evitadas é de 2980 kt de CO<sub>2</sub>, que se verificam face ao cenário -20%, verificando-se crescentes emissões evitadas consoante o aumento do grau de restrição de CO<sub>2</sub> imposto ao modelo.

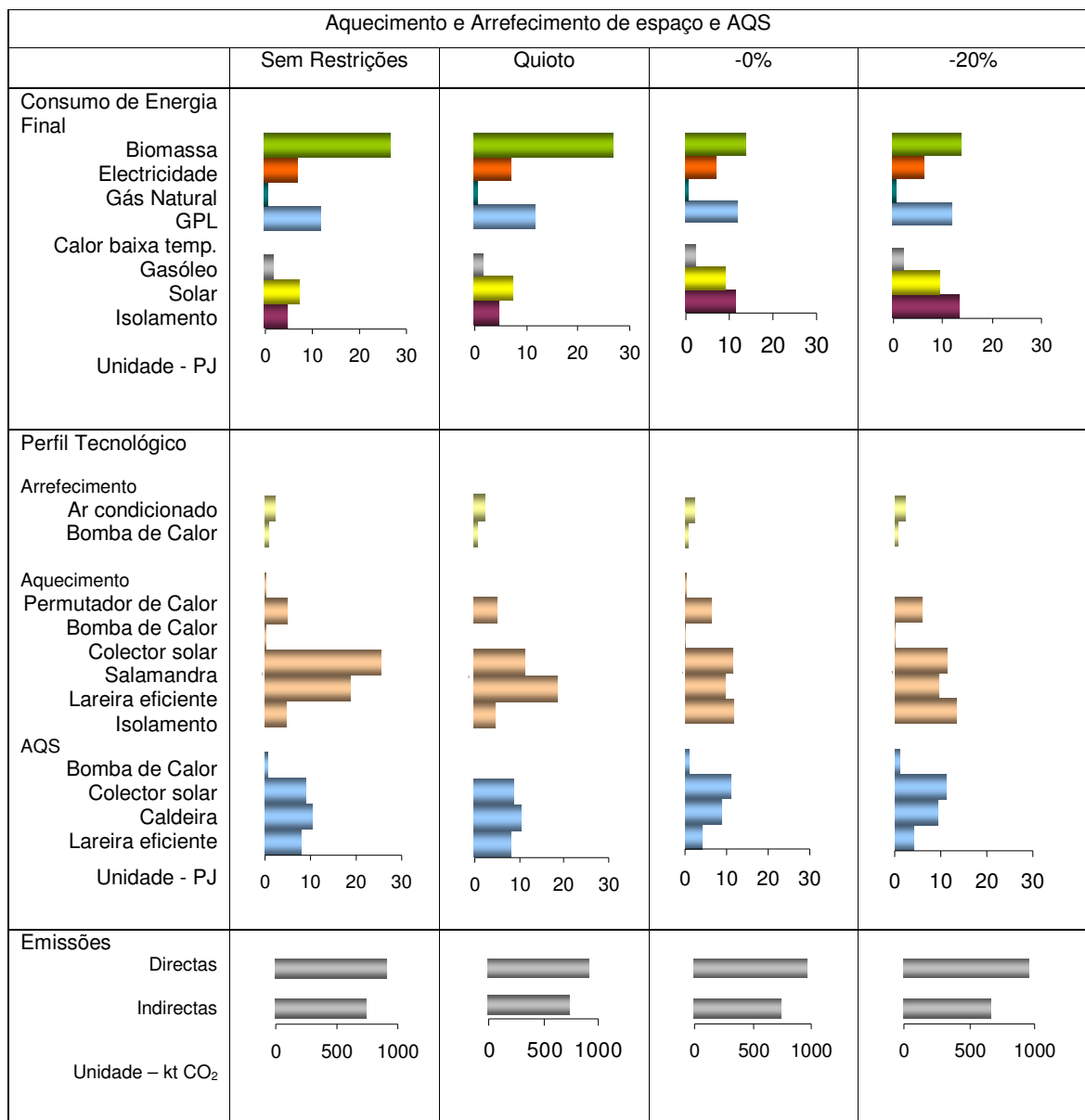
Centrando o estudo nos presentes usos, verifica-se que os cenários menos emissores de CO<sub>2</sub> não apresentam, qualquer custo adicional face ao cenário sem restrições, pois as tecnologias escolhidas não variam entre cenários.

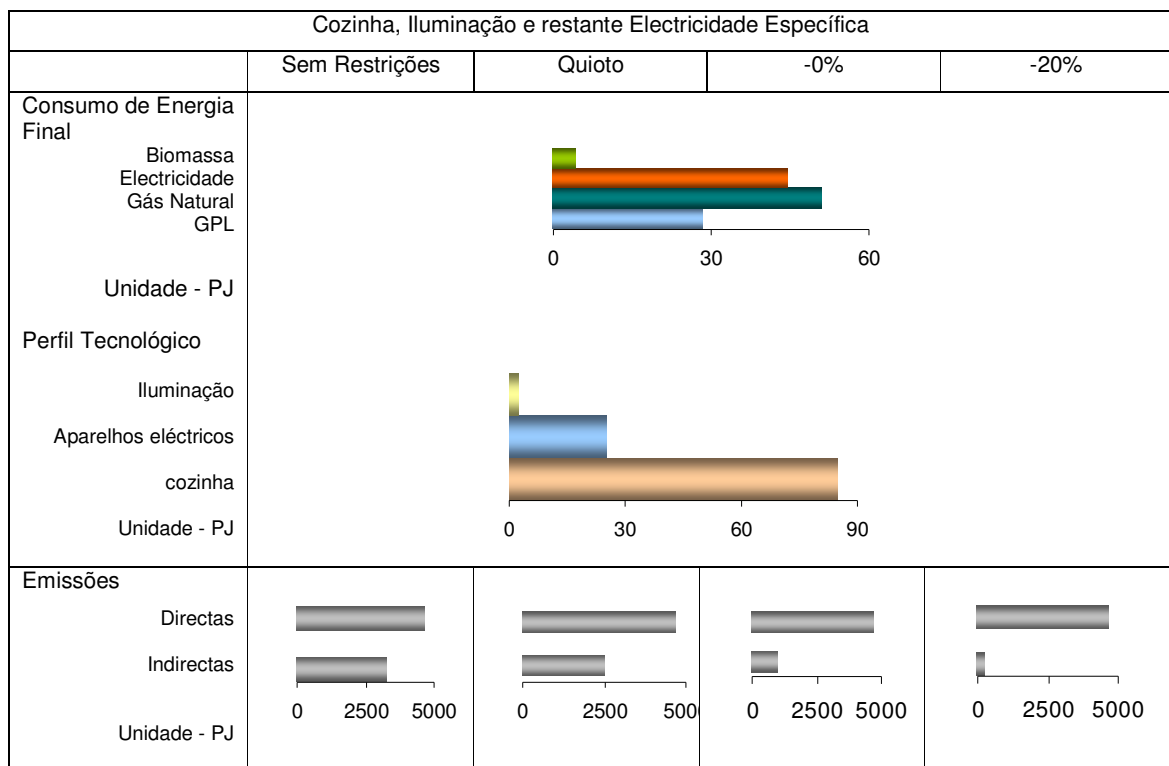
Nos usos de cozinha, iluminação e restante electricidade específica, o consumo de energia das tecnologias não varia ao longo de diferentes cenários. No entanto, os fortes incrementos nas emissões evitadas devem-se apenas ao facto do aumento do grau de restrição de CO<sub>2</sub> provocar maiores contribuições de FER para a produção de electricidade, como se pode verificar na Figura 4.30. Nos usos de aquecimento, arrefecimento e de AQS o mesmo acontece nos apartamentos, entre os cenários Quioto e 0%.

## 4.2.6 Discussão dos Resultados

Para facilitar o processo de discussão, o Quadro 4.7, apresenta os principais resultados obtidos pelo modelo para o ano de 2020.

Quadro 4.7. Resultados para o ano de 2020 para os diferentes cenários, para usos de aquecimento, arrefecimento de espaço e AQS, e para os restantes usos domésticos.





Para aquecimento, o modelo opta por tecnologias de isolamento, limpas, para aquecimento de espaço, e investe noutras para aquecimento de águas, como a energia solar. Face ao consumo de energia final no sector residencial denota-se que com a restrição de Quioto o modelo não altera o panorama de consumo em nenhum dos tipos de uso, mantendo-se semelhante à do cenário sem restrições. Opta por diminuir o consumo predominantemente no sector de produção de electricidade, no qual diminui o consumo de energia final em 14% entre estes dois cenários, e 4% no sector comercial.

Relativamente aos cenários 0% e -20% denota-se uma diminuição do consumo de biomassa, compensada por um forte aumento de energia solar e da energia poupada pela utilização de tecnologias de isolamento. Nestes cenários, o modelo reserva a biomassa para processos de indústria química, cerâmica e alimentar, motivo pelo qual o consumo desta fonte de energia diminui no sector residencial.

Em todos os cenários estudados, não se nota grande diferença quanto às tecnologias de arrefecimento de espaço. Para aquecimento de espaço verifica-se o aumento de colectores solares, diminuição de salamandras, sendo substituídas por lareiras de alta eficiência, e verifica-se um forte aumento das tecnologias de isolamento. No que diz respeito a tecnologias de AQS, entre os cenários SR e Quioto e os dois cenários mais restritivos denota-se um consumo mais elevado dos colectores solares, em detrimento de caldeiras e de lareiras de alta eficiência. O consumo das bombas de calor também aumenta dos cenários menos restritivos para os mais restritivos.

Nos apartamentos o cenário com menos emissões directas é o -20%; no entanto nas vivendas Quioto é o menos emissor para os usos de aquecimento e arrefecimento de espaço e águas. (Este facto deve-se ao aumento de consumo de colectores solares nos cenários 0% e -20%, que por terem *backup* a gásóleo, tornam estes dois cenários um pouco mais emissores de CO<sub>2</sub> do que o cenário Quioto) (Figura 4.17). As emissões provenientes do consumo de electricidade variam pouco com os diferentes cenários em todas as habitações.

Quanto ao consumo dos usos de cozinha, iluminação e restante electricidade específica verifica-se que a confecção de alimentos corresponde a ¾ do consumo total de energia para estes três usos. As emissões provenientes do consumo de electricidade (emissões indirectas) diminuem com o aumento do grau de restrição dos cenários. Este facto deve-se à contribuição das fontes renováveis na produção de electricidade aumentar do cenário SR para o -20%, como se pode verificar na Figura 4.30. As emissões directas, bem como o consumo das tecnologias destes usos, não variam consoante os cenários.

#### 4.2.7 Indicador de Consumo de Electricidade Específica

Para apurar um indicador de Consumo de electricidade específica por m<sup>2</sup> são considerados: o número de vivendas rurais e urbanas e de apartamentos (INE, 2001a); a percentagem de habitações de uso permanente em Portugal para o ano 2000 (INE, 2001a) e a área média dos três tipos de habitação considerada neste trabalho, baseada no programa *MURE Odyssee Household*.

O valor do consumo de electricidade específica no parque residencial existente no ano 2000 divide-se pela área total de habitação em Portugal e obtém-se o valor de 21,65 Wh de electricidade por metro quadrado de habitação no ano 2000.

Para a projecção dos mesmos dados para os anos 2010 e 2020 foi utilizada a taxa de demolição das habitações portuguesas (INE, 2000), e os consumos de electricidade específica gerados pelo modelo TIMES\_PT.

É de notar que se está a contabilizar apenas as habitações de uso permanente, que correspondem a 70,75% das habitações totais portuguesas (INE, 2001a).

Quadro 4.8. Área total das habitações permanentes, consumo de electricidade específica total de Portugal e por metro quadrado de habitação permanente.

	2000	2010	2020
Área habitações permanentes (km <sup>2</sup> )	357,75	357,51	357,27
Consumo electricidade específica (gWh)	7,75	9,85	11,04
Consumo electricidade /m <sup>2</sup> (Wh/m <sup>2</sup> )	21,65	27,55	30,89

Verifica-se que apesar do número de habitações construídas até o ano 2000, e a respectiva área total portuguesa, ir diminuindo ao longo dos anos, espera-se que o consumo de electricidade específica aumente consideravelmente no período em análise.



O Quadro 4.9 representa o consumo de electricidade por metro quadrado no parque habitacional existente em 2000, tendo em conta todos os usos de electricidade existentes nas habitações.

Quadro 4.9. Consumo de electricidade total do parque habitacional construído até o ano 2000, e por metro quadrado de habitação permanente.

	2000	2010	2020
Consumo electricidade específica (gWh)	10,08	12,91	14,37
Consumo electricidade /m <sup>2</sup> (Wh/m <sup>2</sup> )	28,18	34,10	36,38

## 4.3 Análise de Sensibilidade ao Modelo – Isolamento

### 4.3.1 Objectivo e Variável em Análise

Apesar das tecnologias de isolamento serem consideradas nos resultados do modelo em todos os cenários nas habitações multi-familiares, nas vivendas o mesmo não acontece, a não ser em cenários muito restritivos. Neste capítulo realiza-se então uma análise de sensibilidade ao modelo, de modo a se verificar o modo de comportamento do mesmo face à alteração no parâmetro custo (em euros) caracterizador das tecnologias de isolamento. Foram realizados diversos ensaios com o modelo, considerando custos das tecnologias de isolamento mais reduzidos, variando as reduções entre 10 e 90% do custo original destas tecnologias. O cenário estudado é o de Quioto.

Será feita uma análise global do total das habitações portuguesas, e outra análise separando cada um dos três tipos de habitação – apartamentos, vivendas rurais e vivendas urbanas.

Será estudada a Energia Poupada pela utilização das tecnologias de isolamento face à situação de custos inicial, e a percentagem de energia poupada pelas tecnologias de isolamento, face à totalidade de energia consumida pelas tecnologias tradicionais de aquecimento.

Os custos originais estão representados no Quadro 4.10.

Quadro 4.10. Custo das tecnologias de isolamento (€ / tecnologia).

		Apartamentos	Vivendas
Pavimento	Estrados	552.04	341.73
Telhado	Inclinado	118.09	266.02
	Plano	418.42	946.21
Paredes	Exterior	198.20	517.39
	Interior	207.94	544.63
Janelas	Película	132.01	226.29
	Vidros de Baixa Emissão	283.32	498.02
	Vidros Duplos	119.56	218.72

### 4.3.2 Resultados e Discussão

A Figura 4.33 representa a energia final poupada pela utilização das tecnologias de isolamento, face à redução dos custos das mesmas. A energia poupada está representada comparativamente à situação inicial de custos das tecnologias, separadamente para cada tipo de habitação.

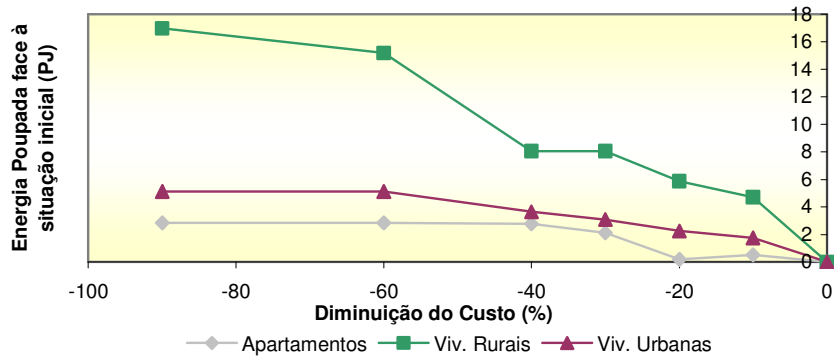


Figura 4.33. Energia poupada pela utilização das tecnologias de isolamento no cenário Quioto com redução de custos do isolamento, face ao panorama inicial de custos.

A diminuição do custo das tecnologias de isolamento provoca um impacto muito significativo nas vivendas rurais. Nos apartamentos a diferença de energia não excede os 3 PJ, nas vivendas urbanas alcança os 5PJ, e nas rurais a energia poupada com a diminuição do custo das tecnologias de isolamento chega aos 17PJ.

Nas vivendas rurais isto verifica-se essencialmente porque as lareiras combinadas de alta eficiência, responsáveis pela produção de 89% de calor no cenário original de Quioto, diminuem a sua contribuição para o aquecimento de espaço em 57%, dando lugar à entrada de tecnologias de isolamento. As bombas de calor combinadas a GPL deixam também de ser consideradas para aquecimento de espaço.

Nos apartamentos e nas vivendas urbanas também se verifica a diminuição / cessação de actividade das lareiras eficientes e das bombas de calor a GPL, no entanto, não tão pronunciadamente como no caso das vivendas rurais.

A Figura 4.34 representa a relação entre a energia poupada pelo isolamento e o total de energia necessária para o aquecimento de espaço nos três tipos de habitações portuguesas face ao cenário de Quioto.

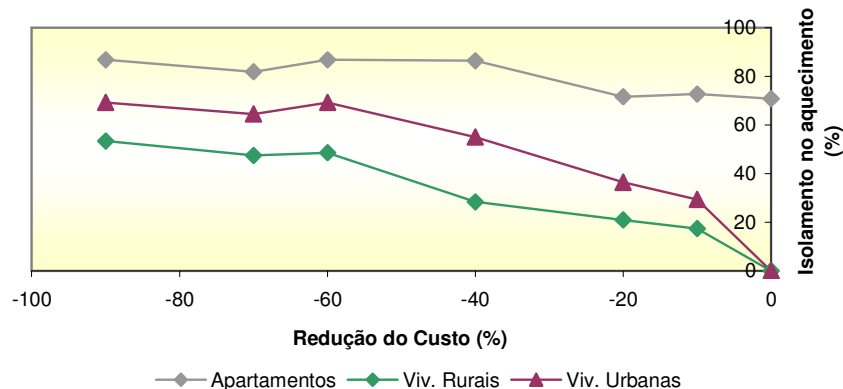


Figura 4.34. Contribuição das tecnologias de isolamento face à energia necessária para a satisfação das necessidades de aquecimento de espaço nos três tipos de habitações.

Verifica-se, para os apartamentos, que apenas se nota um aumento significativo de utilização de tecnologias de isolamento com uma diminuição do custo na ordem dos 40%. Com uma redução de 40% do custo, 86,5% da energia necessária para aquecimento de espaço é satisfeita com tecnologias de isolamento. Reduções mais fortes (em 60 e 90%) apenas aumentam o último valor para 86,9%.

Relativamente às vivendas urbanas, face a uma redução dos custos entre 0 e 20% verifica-se um aumento do peso das tecnologias de isolamento muito pronunciado, alcançando os 36,4%. Seguidamente continua a verificar-se o aumento gradual até aos 60% em que a contribuição do isolamento para o aquecimento total atinge os 69,3%. A partir deste valor, qualquer redução mais forte nos custos não é compensatória.

Nas vivendas rurais o aumento da percentagem de isolamento é sempre gradual com a diminuição do custo das tecnologias. Os pontos mais significativos são face a uma redução de 30% do custo (31,6% de isolamento), redução de 60% (48,6%) e redução de 90%, com 53,4% de satisfação das necessidades de aquecimento com tecnologias de isolamento, a máxima verificada para as vivendas rurais nesta análise.

É de notar que uma redução de 20% no custo das tecnologias de isolamento, é suficiente para o modelo optar por isolar as vivendas rurais e urbanas em detrimento de tecnologias energeticamente dependentes, sendo as fatias respectivamente de 21 e 36% relativamente à totalidade de energia necessária para fornecimento de calor para o espaço.

## Tecnologias

O modelo TIMES\_PT selecciona na sua análise todas as tecnologias de isolamento existentes na base de dados. A Figura 4.35 representa quais as tecnologias seleccionadas para cada tipo de habitação, face à redução de custos que maior quantidade de isolamento considera. Para os apartamentos e vivendas urbanas a redução de custos considerada é de 60% e para as vivendas rurais é de 90%.

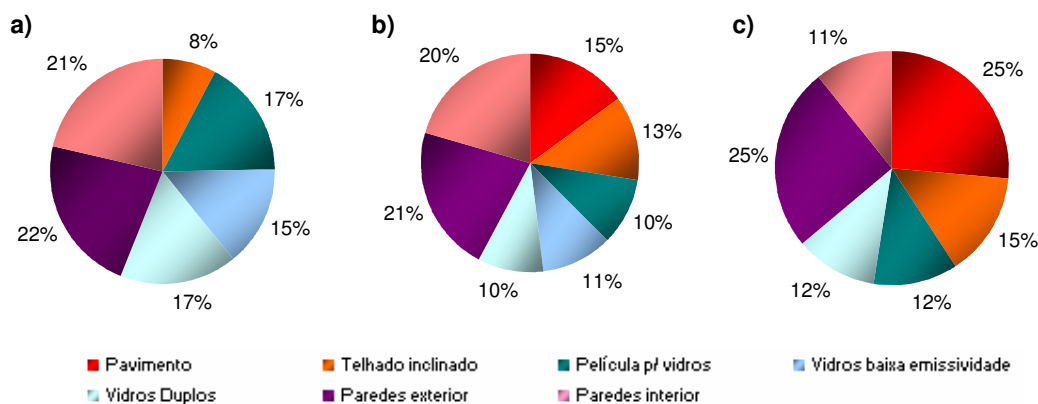


Figura 4.35. Tecnologias de isolamento seleccionadas pelo modelo face a reduções dos seus custos, que mais isolamento consideram em: a) apartamentos, b) vivendas rurais, c) vivendas urbanas.

A tecnologia de isolamento de janelas com vidros de baixa emissividade é a única que não é comum aos três tipos de habitação. Por esta ser uma tecnologia de preço menos acessível, nas vivendas urbanas, o modelo opta por investir um pouco mais em vidros duplos para o isolamento de janelas, e em outras tecnologias para outros tipos de isolamento, como isolamento do pavimento, como se pode verificar na Figura 4.35.

## 5 Conclusões

O consumo de energia no sector residencial depende de factores sociais e técnicos tais como: tempo passado na habitação, dimensão das famílias e das próprias habitações e intervalos térmicos de conforto (Santos e Miranda, 2006). No entanto, associado a um aumento do grau de exigência de conforto e bem-estar, a procura de serviços de energia tende a aumentar ao longo dos anos. Esta tendência pode ser evitada com a utilização de equipamentos energéticos mais eficientes, que produzam uma grande quantidade de serviços de energia, face a necessidades de energia primária ou final menores.

Existe um forte potencial de poupança de energia através da implementação de medidas de eficiência energética no sector residencial. Além das medidas tradicionais de poupança de energia tais como: melhoria do grau de isolamento das habitações, modernização das tecnologias de aquecimento e ventilação, e melhoria dos aparelhos antigos, há uma forte necessidade de se introduzir tecnologias energéticas que vão de encontro às preocupações ambientais (Chwieduk, 2001). Um dos exemplos passa pela utilização de fontes de energias renováveis como por exemplo, colectores solares para aquecimento de águas sanitárias. É de notar que, como enunciado na secção 3.2.2, no presente trabalho, as tecnologias de isolamento estão modeladas como fornecendo apenas calor para as habitações, não sendo consideradas para efeitos de arrefecimento de espaço.

Entre 2010 e 2020 verifica-se que o maior aumento de procura de serviços de energia correspondente ao sector do arrefecimento de espaço, que aumenta 47%, enquanto o aquecimento de espaço e de águas aumentam 5% em todo o tipo de habitações. A iluminação aumenta 4%, enquanto os restantes usos não apresentam grandes variações na procura de energia. De notar que neste estudo existe alguma incerteza associada à procura de serviços de energia, uma vez que a mesma foi calculada recorrendo a estudos provenientes de diferentes fontes - DGGE, INE e INETI.

Com esta dissertação verifica-se que, para o ano 2020, se podem obter significativas poupanças de energia adoptando medidas de eficiência energética nos equipamentos de aquecimento, arrefecimento e AQS, com ênfase nas vivendas. Nas urbanas, o potencial de poupança energética pode atingir os 35% no cenário -20% de emissões de CO<sub>2</sub>, e nas vivendas rurais o potencial de poupança aumenta para 37%, tanto nos cenários 0% como no -20%.

No que diz respeito ao aquecimento de espaço, verifica-se que as tecnologias de isolamento consideradas no modelo são bastante competitivas, principalmente nos apartamentos, nos quais 70% da energia necessária para aquecimento de espaço em 2020 é cedida pela incorporação de materiais isolantes nas habitações. Para este uso, é também seleccionada uma lareira térmica de alta eficiência, que, face aos dois cenários menos restritivos, fornece 65% do calor necessário.

Através de uma análise de sensibilidade realizada ao modelo, foi possível concluir que uma redução de 20% no custo das tecnologias de isolamento, é suficiente para o modelo optar por isolar as vivendas rurais e urbanas em detrimento de tecnologias energeticamente dependentes, sendo as fatias respectivamente de 21 e 36% relativamente à totalidade de energia necessária para fornecimento de calor para o espaço. Nos apartamentos, face à mesma percentagem de redução de custos das tecnologias de isolamento, a fatia de utilização destas tecnologias é de 61% face ao total de energia necessária para o mesmo uso; no entanto, sem qualquer redução nos custos, a percentagem de penetração das tecnologias de isolamento era apenas de 0,5% inferior.

No aquecimento de águas sanitárias, nos cenários SR e Quioto, os colectores solares são responsáveis por 35% do consumo total de energia, enquanto que nos cenários 0% e -20%, este valor aumenta para 42%. Estas tecnologias apresentam alguma competitividade com a lareira térmica de alta eficiência, principalmente nas vivendas.

Quanto às restantes utilizações, toda a iluminação é substituída por lâmpadas fluorescentes compactas, e os electrodomésticos (frigorífico, e máquinas de lavar / secar roupa e de lavar loiça) são substituídos por outros de classe A+/A++ no caso das máquinas de lavar loiça, e de classe AB nos restantes aparelhos.

Além da poupança energética e das tecnologias utilizadas nas habitações existentes no ano 2000, este trabalho também avaliou o impacto das escolhas do modelo no balanço de gases de efeito de estufa, nomeadamente de CO<sub>2</sub> e na relação entre o custo de investimento associado aos resultados de cada cenário, e as emissões poupadas por cada um dos mesmos.

Enquanto nas vivendas rurais a relação custo/redução de emissões é muito elevada (5,6 M€/kt CO<sub>2</sub> reduzida), nos apartamentos esse quociente é bastante reduzido (0,7 M€/kt CO<sub>2</sub> reduzida). Deste modo, conclui-se que é extremamente benéfico investir em medidas de eficiência energética nos apartamentos, bem como nas vivendas urbanas, em que o custo de cada quilotonelada reduzida de CO<sub>2</sub> é de 1,1M€.

Como afirmou Nebojsa Nakicenovic “Decarbonization is an inevitable outcome of technological progress” (Nakicenovic, 1996).

## 6 Referências Bibliográficas

ADENE, *Legislação Nacional*, Agência para a Energia disponível em <http://www.adene.pt/> Certificação Energética e Ar Interior Edifícios → SCE, RCCTE e RCESE → Legislação Nacional, consultado a 3 de Janeiro de 2008.

Água Quente Solar, *Apresentação da Iniciativa Pública "Água Quente Solar para Portugal"*, disponível em [www.aguaquentesolar.com/](http://www.aguaquentesolar.com/) Publicações → Apresentação da Iniciativa Pública, consultado a 2 de Fevereiro de 2008.

Aguiar, R., Santos, F.D. (2007), MISP – Energia e Emissões de Gases com Efeito de Estufa: Um Exercício de Prospectiva para Portugal até 2070. Projecto MISP – *Climate Change: Mitigation Strategies in Portugal*, Fundação Calouste Gulbenkian e Instituto D. Luiz, Lisboa, Portugal págs. 6-12.

Aguiar, R., Gonçalves, H., Oliveira, M., Reis, M. (2002), Energy, in *Climate Change in Portugal. Scenarios, Impacts and Adaptation Measures - SIAM Project*, Santos, F. D., Forbes, K., Moita, R. (eds), Gradiva, Lisboa.

Aguilar, H., Pinho, J., Galhardo, M. e Santos, F. (2007), *Utilização de Sistemas de Energia Solar Activa e Passiva Na Edificação*, CBENS – Primeiro Congresso Brasileiro de Energia Solar, Fortaleza, Brasil.

Anes, A. A. (2002), *A Influência da Massa e da Exposição Solar no Comportamento Térmico dos Edifícios*, Lisboa, Portugal.

AREAM (2008), *Utilização Racional de Energia*, Agência Regional da Energia e Ambiente da Região Autónoma da Madeira, disponível em <http://ure.aream.pt>, consultado a 2 de Janeiro de 2008.

Audin, L., Houghton, D., Shepard, M. and Hawthorne, W. (1997), 1994 Lightning *Technology Atlas*, E-SOURCE Inc., Boulder, CO, pp. 44–46.

Aydinalp, M., Ugursal, V. I. and Fung, A. (2001), *Modeling of the appliance, lighting, and space-cooling energy consumptions in the residential sector using neural networks*, Canadian Residential Energy End-use Data and Analysis Centre, Department of Mechanical Engineering, Dalhousie University, Halifax, Canada.

Aydinalp, M., Ugursal, V. I. and Fung, A. (2003), *Modeling of the space and domestic hot-water heating energy-consumption in the residential sector using neural networks*, Canadian



Residential Energy End-use Data and Analysis Centre, Department of Mechanical Engineering, Dalhousie University, Halifax, Canada.

Balaras, C., Gaglia, A., Georgopoulou, E., Mirasgedis, S., Sarafidis, Y., Lalas, D. (2005), *European residential buildings and empirical assessment of the Hellenic building stock, energy consumption, emissions and potential energy savings*, Penteli, Greece.

Boucinha, P. M. M. e Domingos, J. J. (2006), *Evolução da Procura de Electricidade no Médio e Longo Prazo*, Lisboa, Portugal.

Bosch, J., Johnson, F., Mertens, R., Roubanis, N., Loesoenen, P., Gikas, A., Görten, J. (2007) *Panorama of Energy – Energy Statistics to Support EU Policies and Solutions*, Eurostat Statistical Books. Luxembourg.

Carlson, A. (2002), *Energy systems and the climate dilemma Reflecting the impact on CO<sub>2</sub> emissions by reconstructing regional energy systems*, Division of Energy Systems, Department of Mechanical Engineering, Linköping University, Sweden.

Casals, X. G. (2005), *Analysis of building energy regulation and certification in Europe: Their role, limitations and differences*, Departamento de Fluidos y Calor, Universidad Pontificia Comillas, Madrid, España.

CEEETA, *A utilização das diferentes fontes energéticas nos edifícios*, Centro de Estudos em Economia da Energia dos Transportes e do Ambiente, disponível em [www.ceeeta.pt](http://www.ceeeta.pt) → Site da Energia → Edifícios, consultado a 27 de Novembro de 2007.

CEEETA (2003), *Estudos de Base para elaboração de cenários do PNAC*, Centro de Estudos em Economia da Energia dos Transportes e do Ambiente, documento Excel, comunicado pessoal, Lisboa, Portugal.

Chwieduk, D. (2001), *Towards sustainable-energy buildings*, Institute of Fundamental Technological Research, Polish Academy of Sciences, Warsaw, Poland.

Clinch, J. P. and Healy, J. D. (2000), *Cost-benefit analysis of domestic energy efficiency*, Department of Environmental Studies, University College, Dublin, Ireland.

CCE (2007), *Comunicação da Comissão ao Concelho e ao Parlamento Europeu - Uma política energética para a Europa*, Comissão das Comunidades Europeias, Bruxelas, Bélgica.

CE e DGET (2003), *Melhores Edifícios*, Comissão Europeia e Direcção Geral da Energia e dos Transportes, Bruxelas, Bélgica.

Decreto-Lei n.º 40/1990, de 6 de Fevereiro, que aprova o *Regulamento das Características do Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE)*, Diário da República n.º 105, I Série-A.

Decreto-Lei n.º 78/2006 de 4 de Abril, que implementa o Sistema Nacional de *Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior nos Edifícios (SCE)*, Diário da República n.º 57, 2 Série-A.

Decreto-Lei n.º 79/2006 de 4 Abril, que aprova o *Regulamento dos Sistemas Energéticos e de Climatização dos Edifícios (RSECE)*, que veio substituir o DL n.º119/98, Diário da República n.º 57, 2 Série-A.

Decreto-Lei n.º 80/2006 de 4 de Abril, que aprova o *Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE)*, substitui o DL 40/1990, Diário da República n.º 67, 1 Série-A.

DGGE (2000), *Balanço Energético do ano 2000*, Direcção Geral da Energia e Geologia disponível em [www.dgge.pt](http://www.dgge.pt) → Estatísticas e Preços → Balanços e Indicadores Energéticos → Balanços Energéticos → 1990 a 2003, consultado a 5 de Maio de 2007.

DGGE (2003), *Informação Energia n.º 28*, Direcção de Planeamento e Serviços de Coordenação Internacional, Direcção Geral da Energia e Geologia, Lisboa, Portugal, pp. 33.

DGGE (2004), *Eficiência energética em equipamentos e sistemas eléctricos no sector residencial*, DGGE / IP-3E, Direcção Geral da Energia e Geologia, Lisboa, Portugal.

DGGE (2004), *Reabilitação Energética da Envolvente de Edifícios Residenciais*, DGGE/IP-3E, Direcção Geral da Energia e Geologia, Lisboa, Portugal.

DGGE (2005), *Balanço Energético de 2005*, Direcção Geral de Energia e Geologia, disponível em [www.dgge.pt](http://www.dgge.pt) Estatísticas e Preços → Balanços e Indicadores Energéticos → Balanços Energéticos → 2004-2005, consultado a 4 de Junho de 2007.

DGGE (2007a), *Caracterização Energética Nacional*, Direcção Geral de Energia e Geologia, disponível em [www.dgge.pt](http://www.dgge.pt) → Política Energética → Política Energética Nacional, consultado a 10 de Dezembro de 2007.

DGGE (2007b), *A Evolução da Eficiência & Conservação de Energia em Portugal*, Direcção Geral de Energia e Geologia, disponível em [www.dgge.pt/](http://www.dgge.pt/), consultado a 3 de Setembro de 2007.

DGGE (1990-2005), *Balanços Energéticos da DGGE dos anos compreendidos entre 1990 e 2005*, Direcção Geral de Energia e Geologia, disponível em [www.dgge.pt](http://www.dgge.pt) → Estatísticas e Preços → Balanços e Indicadores Energéticos → Balanços Energéticos, consultado a 4 de Junho de 2007.

Directiva 93/76/CEE, de 13 de Setembro de 1993, relativa à limitação de emissões de dióxido de carbono através do aumento de eficiência energética, Comissão Europeia.

Directiva 2001/77/EC, de 27 de Setembro de 2001, Promoção de electricidade a partir de fontes de energias renováveis (transposta pela Resolução do Conselho de Ministros (RCM) n.º 63/2003), Comissão Europeia.

Directiva 2002/40/CE, de 8 de Maio de 2002, relativa à aplicação da Directiva 92/75/CEE do Conselho no que respeita à etiquetagem energética dos fornos eléctricos para uso doméstico, Diário da República n.º 183, II Série, Comissão Europeia.

Directiva 2002/91/CE, de 16 de Dezembro de 2002, relativa ao desempenho energético dos edifícios. Diário da República n.º 67 I Série-A, Comissão Europeia.

DPP (2008), *Intensidade Energética - Série Histórica 1995-2000 e Hipótese de Melhoria "Mínima/Autónoma" da Eficiência Energética no horizonte 2020*, Departamento de Prospectiva e Planeamento e Relações Internacionais, Lisboa, Portugal.

EDP (2005), *Contexto da eficiência energética e o consumo de energia no sector doméstico*, Energias de Portugal, disponível em [www.ecocasa.org](http://www.ecocasa.org), consultado a 10 de Setembro de 2007.

EDP Gás (2008), *Tarifário Gás Natural - Cozinha Profissional*, disponível em [www.portgas.pt](http://www.portgas.pt), consultado a 6 de Outubro de 2007.

EC (2001), *Green Paper - Towards a European Strategy for the Security of Energy Supply*, European Communities, European Commission, Luxembourg.

EC (2004), *European Union Energy and Transport in Figures 2004 edition, Part 2: Energy*. European Commission, Directorate-General for Energy and Transport, in cooperation with EUROSTAT, Luxembourg.

EEA (2003), *Transport final energy consumption by mode, Indicator fact sheet*, European Environmental Agency, disponível em <http://themes.eea.europa.eu>, consultado a 5 de Janeiro de 2008.

EEA (2004), *Annual European Community Greenhouse Inventory 1990–2002 and Inventory Report 2004*, AEA Technical Report n.º 2, Submission to the UNFCCC secretariat, European Environmental Agency, Luxembourg.

Enerdata SA (2003), *Energy efficiency in the European Union 1990–2001. SAVE-Odyssey project on energy efficiency indicators*, Enerdata SA in collaboration with the Fraunhofer Institute Systems & Innovation Research, Gières, Grenoble, France.

EURIMA (2002), *A importância para o ambiente do isolamento dos edifícios*, European Insulation Manufacturers Association, Brussels, Belgium, consultado a 17 de Dezembro de 2007.

EURIMA (2006a), *Cost-Effective Climate Protection in the EU Building Stock*, European Insulation Manufacturers Association, Cologne, Germany, disponível em <http://www.eurima.org/invest/index.html>, consultado a 17 de Dezembro de 2007.

EURIMA (2006b), *Environment*, European Insulation Manufacturers Association, Brussels, Belgium, disponível em: <http://www.eurima.org/environement/environment.html>, consultado a 17 de Dezembro de 2007.

Eurostat (2007), *Energy Statistics*. Disponível em <http://epp.eurostat.ec.europa.eu>, consultado a 26 de Junho de 2007.

Fernandes, E. O. (2003), *A Nova Regulamentação Energética nos Edifícios em Portugal*, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal.

Gaunt L. (1985), *Habits and energy*, Meddelande M85:14, The National Swedish Institute for Building Research, Sweden.

Gonçalves, H., Oliveira, M., Camelo, S., Aguiar, R. (2001) *Portuguese Residential Sector – Evolution Perspective* Essay. CERT Experts Group on R&D Priority Setting and Evaluation. Copenhagen, Denmark.

Gonçalves, H., Panão, M. O., Camelo, S., Graça, J. M., Ramalho, A., Aguiar, R. (2004), *Ambiente Construído, Clima Urbano, Utilização Racional de Energia nos Edifícios da Cidade de Lisboa*, INETI, Lisboa, Portugal.

Healy, J. D. (2003), *Housing conditions, energy efficiency, affordability and satisfaction with housing: a pan-European analysis*, *Housing Studies*, Department of Environmental Studies, University College Dublin, Dublin, Ireland, pp. 409–424.

Hens, H., Verbeeck, G., Verdonck, B. (2000), *Impact of energy efficiency measures on the CO<sub>2</sub> emissions in the residential sector, a large scale analysis*, Department of Civil Engineering, Laboratory for Building Physics, K.U. Leuven, Belgium.

Horta C. (2006), *Eficiência Energética dos Edifícios – O Novo Enquadramento Legislativo*. INETI, Lisboa, Portugal.

Houghton, J., Ding, Y., Griggs, D., Noguer, M., van der Linden, P. e Dai, X. (2001), *Climate change 2001: mitigation. Contribution to the third report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)*, Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom.

Hug, R. (2007), *Solar thermal in Europe: expanding markets, better political framework conditions and state-of-the-art technical solutions*, Germany.

INE, *Indicadores de Conforto*, Instituto Nacional de Estatística Disponível em [www.ine.pt](http://www.ine.pt), consultado a 6 de Maio de 2007.

INE, *Estatísticas de construção e habitação*, Instituto Nacional de Estatística, Lisboa, Disponível em [www.ine.pt](http://www.ine.pt), consultado a 6 de Outubro de 2007.

INE, *Census 2001 -Quadro Alojamentos por Localização Geográfica e Tipo*, Instituto Nacional de Estatística, consultado em 24 de Junho de 2007.

INE, *Resultados dos CENSUS 2001*, Instituto Nacional de Estatística, Disponível em [www.ine.pt](http://www.ine.pt), consultado a 25 de Junho de 2007.

INE, *Building Construction Statistics*, Instituto Nacional de Estatística, Disponível em [www.ine.pt](http://www.ine.pt), consultado em 20 de Agosto de 2007.

INE, *Resultados Definitivos do Censo 2001 - Informação à Comunicação Social*, Instituto Nacional de Estatística, disponível em [http://paginas.ispgaya.pt/~vmca/Documentos links/censo2001.pdf](http://paginas.ispgaya.pt/~vmca/Documentos_links/censo2001.pdf), consultado a 13 de Dezembro de 2007.

INE (2002), *XIV Recenseamento Geral da População – Principais características de lares e habitações privadas; Parâmetros de Conforto das Famílias*, XIV Recenseamento Geral à População Total, Instituto Nacional de Estatística, disponível em [www.ine.pt](http://www.ine.pt), consultado a 13 de Dezembro de 2007.

INE (2003), *Building and Houses Statistics - 2003*, Instituto Nacional de Estatística, disponível em [www.ine.pt](http://www.ine.pt), consultado a 25 de Outubro de 2007.

INE (2004), *Building and Houses Statistics - 2004*, Instituto Nacional de Estatística, disponível em [www.ine.pt](http://www.ine.pt), consultado a 25 de Outubro de 2007.

INE (2007), *Anuário Estatístico de Portugal 2006*, Instituto Nacional de Estatística, pp51, disponível em [www.ine.pt](http://www.ine.pt), consultado a 25 de Outubro de 2007.

IPCC (2000), *Energy*, in *IPCC Good practice guidance and uncertainty management in national greenhouse gas inventories*, Intergovernmental Panel on Climate Change, Montreal, Canada.

IPCC (2007), *Summary for policymakers, in Climate Change: the physical science basis*, Contribution of the Working group I to the fourth assessment report of the Intergovernmental Panel

on Climate Change, Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom.

Joyce, A. (2006), *Energias Renováveis: estado da arte e situação em Portugal*, Departamento de Energias Renováveis, INETI, Lisboa, Portugal, disponível em <http://geologia.fc.ul.pt>, consultado a 20 de Dezembro de 2007.

Kaynakli, O. (2007), *A study on residential heating energy requirement and optimum insulation thickness*, Mechanical Engineering Department, Faculty of Engineering and Architecture, University of Uludag, Bursa, Turkey.

Klinckenberg, F. e Sunikka, M. (2006), *Better Buildings Through Energy Efficiency: A Roadmap for Europe, and Part of Eurima Blueprint Project*, Meerssen, Holland.

Loulou, R., Remme, U., Kanudia, A., Lehtila, A. e Goldstein, G. (2005), *Documentation for the TIMES model - PART I. Energy Technology Systems Analysis Programme*, disponível em [www.etsap.org/tools.htm](http://www.etsap.org/tools.htm).

Lundström E. (1986), *Occupant influence on energy consumption in single-family dwellings*, The Swedish Council for Building Research, Sweden.

Maldonado, E. (2005), *A Directiva Europeia sobre o Desempenho Energético dos Edifícios*, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, documento apresentado na Lisboa E-NOVA, Portugal.

Mantzou L., Capros P., Kouvaritakis N., Zeka-Paschou M. (2003), *European energy and transport - trends to 2030*. Comissão Europeia, Directorate-General Energy and Transport, Brussels, Belgium.

Marchio D. (2003), *High efficiency and low environmental impact air-conditioning systems air-conditioning key figures in the world, in Europe and in France*. Paris: Centre d'Énergétique, Ecole des Mines de Paris, France.

MEI (2008), *Portugal Eficiência 2015. Plano Nacional de Acção para a Eficiência Energética*. Resumo – Versão para Discussão Pública, Ministério da Economia e da Inovação, Lisboa, Portugal.

Nakicenovic, N. (1996), Decarbonization: Doing more with less, in *Technological Forecasting and Social Change*, volume 51, Elsevier Science (editor), pp. 1–17.

Norris, M., Shiels, P. (2004), *Regular national report on housing developments in European countries. Synthesis report*. Dublin, Ireland.

Nunes, R. (2003), *Transportes e Ambiente à Escala Nacional e Local – Promoção da Eco-condução no Concelho de Oeiras*, Agência Municipal de Energia e Ambiente em Oeiras, disponível em [www.oeinerge.pt](http://www.oeinerge.pt), consultado a 16 de Dezembro de 2007.

Olofsson, T. e Andersson, S. (2001), *Overall heat loss coefficient and domestic energy gain factor for single-family buildings*, Department of Applied Physics and Electronics, Umeå University, Umea, Sweden.

Payà, M. (1994), *Isolamento Térmico e Acústico*, 1ª Edição, Barcelona, pp.8. Traduzido por Orlando G., Plátano Editora, Lisboa, Portugal (Colecção Monografias Plátano Edições Técnicas).

Petersdorff, C., Boermans, T., Harnisch, L., Joosen, S., Wouters, F. (2002), *The Contribution of Mineral Wool and other Thermal Insulation Materials to Energy Saving and Climate Protection in Europe* (2002), Ecofys, Cologne, Germany.

Petersdorff, C., Boermans, T., Stobbe, O., Joosen, S., Graus, W., Mikkers, E. and Harnisch, J. (2004), *Mitigation of CO<sub>2</sub> Emissions from the Building Stock. Beyond the EU Directive on the Energy Performance of Buildings Directive*, Ecofys, Cologne, Germany.

Petersdorff, C., Boermans, T., Joosen, S., Kolacz, I., Jakubowska, B., Scharte, M., Stobbe, O., e Harnisch, J. (2005), *Cost-Effective Climate Protection in the Building Stock of the New EU Member States. Beyond the EU Directive on the Energy Performance of Buildings Directive*, Ecofys, Cologne, Germany.

Pinto, A. M. (2007), *A Nova Regulamentação dos Edifícios e o Sistema de Certificação Energética*, ADENE – Agência para a Energia, Portugal.

Porritt, J. (1991), *Save the Earth*, Dorling Kindersley, London.

Price, L., Rue du Can, S., Sinton, J. and Worrell, E. (2006), *Sectoral Trends in Global Energy Use and GHG Emissions*, Lawrence Berkeley National Laboratory, Berkeley, United States of America.

RCM - Resolução do Concelho de Ministros n.º 63/2003 de 28 de Abril de 2003, Anexo Política Energética Portuguesa. Diário da República n.º 98 - SÉRIE I-B, disponível em [www.iapmei.pt](http://www.iapmei.pt).

RCM - Resolução do Concelho de Ministros n.º 104/2006 de 31 de Julho, *Relatório síntese do Programa Nacional para as Alterações Climáticas*, aprova o Programa Nacional para as Alterações Climáticas de 2006 (PNAC 2006) e revoga a Resolução do Concelho de Ministros n.º 119/2004. Diário da República n.º 162, Série I.

RCM - Resolução do Conselho de Ministros nº 169/2005 de 24 de Outubro de 2005, em que se estabelece uma Estratégia Nacional para a Energia, Diário da República n.º 204, 1 Série-B.

Rezza, G. (2003), *Severe acute respiratory syndrome*, Journal Epidemiol Community Health 2003 57: 643, Rome, Italy.

Rocky Mountain Institute, *Home Energy Briefs – Lighting*, Snowmass CO, disponível em [www.rmi.org](http://www.rmi.org), consultado a 20 de Março de 2007.

Santos, F.D. e Miranda, P. (2006), *Alterações Climáticas em Portugal Cenários, Impactos e Medidas de Adaptação*. Projecto SIAMII, Gradiva, Lisboa, Portugal, pp. 275.

Schneider, S. (1991) in *Save the Earth*, Dorling Kindersley, London, pp. 95.

Simões, S., Cleto, J., Fortes, S., Seixas, J., Huppes, G. (2008), *Marginal CO<sub>2</sub> abatement costs for the portuguese energy system – scenarios analysis for 2030*, Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa, DCEA - Campus da Caparica, Portugal.

Ürge-Vorsatz, D. and Novikova, A. (2007), *Potentials and Costs of Carbon Dioxide Mitigation in World's Buildings*, Department of Environmental Sciences and Policy, Central European University Budapest, Hungary.

Ürge-Vorsatz, D., Danny Harvey, L. D., Mirasgedis, S., Levine, M. D. (2007) *Mitigating CO<sub>2</sub> emissions from energy use in the world's buildings*, in Building Research & Information, 35:4, 379 – 398, London, United Kingdom.

Valério, J. P. (2007), *Avaliação do Impacte das Pontes Térmicas no Desempenho Térmico e Energético de Edifícios Residenciais Correntes*, dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Civil, Instituto Superior Técnico, Lisboa, Portugal.

Vera-Cruz, R. - Arquitecto docente na Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa, comunicado pessoal realizado em Setembro de 2007.

Wulfinghoff, D. (2000), *Energy Efficiency Manual: for everyone who uses energy, pays for utilities, designs and builds, is interested in energy conservation and the environment*, Energy Institute Press.





# ANEXO I

## Descrição das tecnologias abrangidas pelo Modelo

Quadro A.1. Distribuição das tecnologias de aquecimento de espaço pelos três tipos de habitação e ano de entrada no modelo.

Tecnologia	Vivendas Rural	Vivendas Urbano	Apartamentos	Ano
Salamandra a Biomassa	X	X	X	2000
Salamandra a carvão linhite	X	X	X	2001
Salamandra a GPL	X	X	X	2001
Salamandra a Petrolíferos	X	X	X	2001
Salamandra eléctrica	X	X	X	2001
Lareira a Biomassa	X	X		2001
Lareira a Biomassa combinada <sup>1</sup> (alta eficiência)	X	X		2001
Caldeira a Biomassa combinada <sup>1</sup>	X	X	X	2001
Caldeira a Carvão	X	X	X	2001
Caldeira Central a Carvão			X	2001
Caldeira a Petrolíferos combinada <sup>1</sup>	X	X	X	2001
Caldeira a Petrolíferos – sistema de água	X	X	X	2000
Caldeira a Petrolíferos combinada condensadora <sup>1</sup>	X	X	X	2001
Caldeira Central a Petrolíferos			X	
Caldeira eléctrica combinada <sup>1</sup>	X	X	X	2000
Caldeira a Gás Natural	X	X	X	2001
Caldeira a Gás Natural (AQS+Aq.) <sup>1</sup>	X	X	X	2000
Caldeira a Gás Natural Condensadora	X	X	X	2001
Caldeira a Gás Natural Combinada <sup>1</sup>	X	X	X	2001
Caldeira Central a Gás Natural Condensadora			X	2001
Caldeira Central a Gás Natural Combinada <sup>1</sup>			X	2001
Caldeira a Gás Natural Combinada Condensadora <sup>1</sup>	X	X	X	2001
Caldeira a GPL	X	X	X	2001
Caldeira a GPL combinada <sup>1</sup>	X	X	X	2001
Caldeira Central a GPL			X	2001
Fornalha a Carvão	X	X	X	2000
Fornalha a GPL	X	X	X	2000
Fornalha a Petrolíferos com “fan coils”	X	X	X	2001
Fornalha a Gás	X	X	X	2000
Fornalha Geotérmica	X	X	X	2000
Fornalha a Hidrogénio	X	X		2000
Fornalha Solar	X	X	X	2000
Fornalha com ventiladores a Petrolíferos	X	X	X	2001
Fornalha com ventiladores a Gás Natural	X	X	X	2001
Fornalha com ventiladores a GPL	X	X	X	2001
Resistência Eléctrica	X	X	X	2000
Bomba de Calor eléctrica <sup>2</sup>	X	X	X	2000
Bomba de Calor eléctrica combinada <sup>1</sup>	X	X	X	2001
Bomba de Calor geotérmica combinada <sup>1</sup>	X	X	X	2001
Bomba de Calor a gás natural	X	X	X	2000
Bomba de Calor a gás natural combinada	X	X	X	2001
Bomba de Calor a GPL combinada	X	X	X	2001

<sup>1</sup> As tecnologias combinadas têm funções de aquecimento de espaço e de águas.





<sup>2</sup> Estas tecnologias produzem calor e frio para o espaço

Permutador de Calor combinado a CBT <sup>1</sup>	X	X	X	2001
Colector Solar com <i>backup</i> de hidrogénio	X	X	X	2001
Colector Solar com <i>backup</i> de Gás Natural	X	X	X	2001
Colector Solar com <i>backup</i> de Electricidade	X	X	X	2001
Aquecedor a Hidrogénio Catalítico	X	X		2000

Quadro A.2. Distribuição das tecnologias de isolamento pelos três tipos de habitação e ano de entrada no modelo.

	Rural	Urbano	Prédio	Ano
<b>Isolamento do Chão das Habitações</b>				
<b>Isolamento das Paredes</b>				
Isolamento com painel externo				
Isolamento com painel interno				
<b>Isolamento do Telhado</b>				
Isolamento do telhado inclinado desvão desabitado	X	X	X	2001
Isolamento do telhado plano exterior				
<b>Isolamento das Janelas</b>				
Vidros Duplos				
Película de Isolamento				
Vidros de Baixa Emissividade				

Quadro A.3. Distribuição das tecnologias de arrefecimento de espaço pelos três tipos de habitação e ano de entrada no modelo.

	Rural	Urbano	Prédio	Ano
Ar Condicionado eléctrico	X	X	X	2000
Ar Condicionado eléctrico tipo Janela				
	X	X	X	2000
Ar condicionado eléctrico do tipo <i>Splits</i>				
	X	X	X	2000
Ar condicionado portátil				
	X	X	X	2001
Ar Condicionado Central a Electricidade	X			2001
Ar Condicionado Central a Gás Natural	X			2001
Ar condicionado Central Geotérmico				
	X	X	X	2000
Ar Condicionado Central Solar	X			2001

Bomba de Calor Eléctrica	X	X	X	2001
Bomba de Calor a Gás Natural Não reversível	X	X	X	2000
Ventiladores	X	X	X	2001

**Nota:** Além das tecnologias comuns a aquecimento de espaço e de águas, mencionadas no Quadro A.1, as seguintes tecnologias (Quadro A4) são exclusivas de aquecimento de águas.

Quadro A.4. Distribuição das tecnologias de aquecimento de águas pelos três tipos de habitação e ano de entrada no modelo.

	Rural	Urbano	Prédio	Ano
Salamandra a Biomassa	X	X	X	2000
Caldeira a Biomassa	X	X	X	2001
Caldeira a Gás Natural	X	X	X	2001
Caldeira a GPL	X	X	X	2001
Fornalha a Carvão	X	X	X	2000
Fornalha a Gás	X	X	X	2000
Fornalha a Geotérmica	X	X	X	2000
Fornalha a GPL	X	X	X	2000
Fornalha a Petrolíferos	X	X	X	2000
Fornalha a Solar	X	X	X	2000
Aquecedor de água a electricidade	X	X	X	2000
Aquecedor de Água a Óleo	X	X	X	2000
Resistência Eléctrica	X	X	X	2001
Bomba de calor Eléctrica	X	X	X	2001
<i>Fuel Cell</i> a Gás Natural combinada	X	X	X	2010
Permutador de Calor a Geotérmica	X	X	X	2001
Permutador de Calor a Baixa Temperatura (CBT)			X	2000
Colector Solar com <i>backup</i> de Petrolíferos	X	X	X	2001
Colector Solar com <i>backup</i> de Gás	X	X	X	2001
Colector Solar com <i>backup</i> de Electricidade	X	X	X	2001

As tecnologias contidas nos Quadros A1 a A5 são aplicáveis aos três de tipos de habitação – apartamentos, vivendas rurais e vivendas urbanas.

Quadro A.5. Tecnologias de iluminação existentes na base de dados do modelo TIMES\_PT

Lâmpada Incandescente <i>Standard</i>
Lâmpada Incandescente IMP
Lâmpada de Halogéneo
Lâmpada Fluorescente
Lâmpada Fluorescente de início Rápido

Quadro A.6. Distribuição das tecnologias de cozinha

Salamandra a Biomassa Salamandra a Carvão Salamandra a Electricidade Salamandra a Gás Natural Salamandra a GPL Salamandra a Petrolíferos Salamandra a Solar
---

Quadro A.7. Distribuição dos electrodomésticos utilizados no modelo TIMES – Máquinas de lavar

Máquina de Lavar Loiça a Electricidade Máquina de Lavar Loiça de Alta Eficiência (AB) Máquina de Lavar Loiça de Alta Eficiência (A+, A++) Máquina de Lavar Loiça de Média Eficiência (D)
---

Quadro A.8. Distribuição dos electrodomésticos utilizados no modelo TIMES – Frigoríficos

Frigorífico (ano 2000) Frigorífico de Classe A ou B Congelador a electricidade de Classe A+ ou A++ Frigorífico Combinado (ano 2000) Congelador de Classe A ou B Congelador de Classe A+ ou A++ Frigorífico Combinado 510l de Classe A ou B Frigorífico Combinado 510l de Classe A++
--

## ANEXO II

### Tecnologias de Isolamento

As tecnologias de isolamento consideradas neste trabalho coincidem com as focadas numa publicação da DGGE, *Reabilitação Energética de Edifícios*, sendo elas:

- Isolamento térmico pelo exterior de paredes simples de tijolo furado, em poliestireno expandido moldado (EPS) em placas de tipo ETICS e com revestimento delgado. Associar-se-á à tecnologia de isolamento de paredes com painéis exteriores.
- Isolamento térmico pelo interior de paredes simples de tijolo furado através de placas de poliestireno expandido moldado e com revestimento em placas de gesso cartonado. Associar-se-á à tecnologia de isolamento de paredes com painéis interiores.
- Isolamento térmico inferior à laje de pavimento (sobre a garagem e arrecadações) em lã mineral em placas fixado directamente ao pavimento e com um acabamento contínuo por exemplo em placas de gesso cartonado. Associar-se-á à tecnologia de Isolamento do pavimento com estrados pelo seu interior.
- Isolante térmico na cobertura inclinada (desvão não habitado) sobre a esteira horizontal, em poliestireno expandido moldado (EPS) em placas. Associar-se-á à tecnologia de isolamento de tecto inclinado de desvão desabitado.
- Isolamento térmico numa cobertura horizontal de um edifício de habitação, tipo isolante suporte de impermeabilização, em poliestireno expandido moldado (EPS) em placas e impermeabilização. Associar-se-á à tecnologia de Isolamento de telhados planos pelo exterior

Todas as tecnologias de isolamento podem ser empregues em vivendas e em apartamentos. O ano de entrada das tecnologias é 2001.

## ANEXO III

### Caracterização das tecnologias abrangidas pelo Modelo (eficiência, tempo de vida, custos)

Quadro B.1. Tempo de Vida das tecnologias de isolamento do TIMES

	<i>Tecnologia</i>	<i>Tempo de vida (anos)</i>	
		<i>Prédios</i>	<i>Vivendas</i>
Chão	Estrados no interior do chão	50	50
Telhado	Isolamento do tecto do lado do sótão (telhado inclinado)	50	30
	Painel de telhado plano pelo exterior	50	30
Janelas	Película de isolamento	20	20
	Vidros de baixa emissividade	20	20
	Vidros Duplos	20	20
Paredes	Painel de isolamento externo	50	50
	Painel de isolamento interno	50	50

Quadro B.2. Custos dos Combustíveis segundo o modelo TIMES\_PT

Combustível	Custo (€/GJ)
Carvão	2,11
Produtos Petrolíferos	1.98
Gás Natural	12.87
Electricidade	14.11
Biomassa	1.98
Geotérmica	0.00
Calor de Baixa Temperatura	0.00
GPL	9,23

Tabela B.3. Custos de Combustíveis segundo o modelo TIMES\_PT

Combustível	Custo para 2010	Custo para 2020
Carvão (USD\$/t)	50,7	53,1
Produtos petrolíferos (USD\$/barril)	25,8	38,1
Gás natural (USD\$/m <sup>3</sup> )	0,19	0,20

## ANEXO IV

### Metodologia de mudança de custos das tecnologias de Isolamento

Os custos das tecnologias de isolamento no modelo têm a unidade de €/GJ poupado pela utilização de cada tecnologia. Este valor depende dos factores:

- Custo de investimento e aplicação das tecnologias;
- Percentagem de energia poupada pela utilização de cada uma das tecnologias, face a um cenário sem isolamento;
- Energia útil necessária para aquecer as casas portuguesas até uma temperatura de conforto de 20°C no Inverno.

Para a calibração dos dados de Isolamento do modelo, foram estudadas todas as tecnologias existentes no mesmo – isolamento do chão dos edifícios, das suas paredes, do telhado e das janelas.

#### • Custo das Tecnologias

Os custos de investimento da base de dados divergem consoante dois tipos de habitação – apartamentos e vivendas – tendo que ser estudados separadamente. A área isolada representada nos Quadros seguintes refere-se à área de isolamento aplicada a cada habitação.

O cálculo dos custos de investimento das tecnologias de isolamento foi realizado individualmente para cada tipo de tecnologia e para os dois tipos de habitação existentes – apartamentos e vivendas. Não se individualiza as vivendas rurais das urbanas porque as características físicas das mesmas são iguais, como se pode verificar no Quadro 3.1 do presente trabalho.

O livro da DGGE abrange custos de algumas tecnologias de isolamento, implantadas nas regiões de Lisboa, Porto e Braga para várias espessuras de isolamento térmico. Para cada tecnologia, os valores de custo considerados válidos para cada espessura de isolamento, foram as médias entre as três localizações.

#### IV.1 Isolamento do Pavimento das Habitações

A área do chão do prédio, não sendo uma parte comum do condomínio foi dividida pelos quatro habitantes do rés-do-chão, e foi utilizado para os cálculos 95% de modo a excluir-se as áreas comuns como de hall, escadas, elevador, entre outras.

O custo da instalação da tecnologia por metro quadrado, foi baseada em dados do livro da DGGE, para uma espessura média de 50mm de isolante estudada.



Quadro C.1. Características de Isolamento do pavimento

	Apartamento	Vivenda
Custo final (€)	1182,64	1258,45
Área isolada (m)	75,81	80,67
Custo / m <sup>2</sup> (€/m <sup>2</sup> )	15,60	
Espessura do isolante (mm)	50	

#### IV.2. Isolamento das Paredes

Uma vez que o isolamento das paredes é usualmente realizado nas paredes exteriores, seria de esperar que a diferença entre o custo nos apartamentos e nas vivendas seja notória.

O valor da área isolada em cada apartamento é calculado dividindo a área das paredes do prédio por 16.

##### Isolamento com painel externo

O custo da instalação da tecnologia por metro quadrado, foi baseada nos dados do livro da DGGE, para uma espessura média – 70mm de isolante estudada.

Quadro C.2. Isolamento com painel externo

	Apartamento	Vivenda
Custo final (€)	1523,60	5513,93
Área isolada (m <sup>2</sup> )	41,8	151,4
Custo/m <sup>2</sup> (€/m <sup>2</sup> )	36,41	
Espessura do isolante (mm)	70	

##### Isolamento com painel interno

O procedimento foi similar ao anterior.

Quadro C.3. Isolamento com painel interno

	Apartamento	Vivenda
Custo final (€)	1519,83	5500,30
Área isolada (m <sup>2</sup> )	41,85	151,44
Custo/m <sup>2</sup> (€/m <sup>2</sup> )	36,32	
Espessura do isolante (mm)	60	

#### IV.3 – Isolamento do Telhado

O custo do telhado de um prédio será distribuído por todos os condóminos do prédio (16), pois o telhado é considerado uma parte comum da habitação.

### Isolamento do telhado inclinado - desvão desabitado

O custo da instalação da tecnologia por metro quadrado, foi baseada nos dados de (DGGE, 2004), para uma espessura média – 90mm de isolante estudada.

Quadro C.4. Isolamento do telhado inclinado

	Apartamento	Vivenda
Custo final (€)	183,54	964,80
Área isolada (m <sup>2</sup> )	19,95	104,87
Custo/m <sup>2</sup> (€/m <sup>2</sup> )	9,20	
Espessura do isolante (mm)	90	

### Isolamento do telhado – plano exterior

O custo da instalação da tecnologia por metro quadrado, foi baseada nos dados do livro da DGGE, para uma espessura média – 80 mm de isolante estudada.

Quadro C.5. Isolamento do telhado – Plano exterior

	Apartamento	Vivenda
Custo final (€)	421,83	2217,40
Área isolada (m <sup>2</sup> )	19,95	104,87
Custo/m <sup>2</sup> (€/m <sup>2</sup> )	21,14	
Espessura do isolante (mm)	80	

## **1.4 – Isolamento das Janelas**

### Vidros Duplos

Para o cálculo dos preços dos vidros duplos, utilizou-se um orçamento real facultado pela empresa “Caixa de Ar”, para um apartamento com 25,00m<sup>2</sup> de janelas, situado em Almada.

O orçamento analisado foi de 2664,75€, o que permite retirar um valor de custo total de 84,20€ / m<sup>2</sup> de janela.

Tendo em conta que, em média, cada apartamento tem 6 janelas (MURE), considerando que cada janela tem 1,46m<sup>2</sup>, conclui-se que cada apartamento terá uma média de 8,76m<sup>2</sup> de janelas.

Deste modo podem obter-se valores de custo de investimento total (mão-de-obra incluída) para as habitações.

Quadro C.6. Isolamento com vidros duplos

	Apartamento	Vivenda
Custo final (€)	737,65	1106,47
Área isolada por lar (m <sup>2</sup> )	8,76	13,14
Custo/m <sup>2</sup> (€/m <sup>2</sup> )	84,20	

### Película de Isolamento

O custo atribuído à película de isolamento térmico é de 45€/ m<sup>2</sup> (Alma do vidro).

Esta tecnologia pode ser aplicada pelo próprio utilizador, facto que torna o custo da mão-de-obra considerado nulo.

Quadro C.7. Isolamento com películas isoladoras

	Apartamento	Vivenda
Custo final (€)	394,20	591,30
Área isolada (m <sup>2</sup> )	8,76	13,14
Custo / m <sup>2</sup> (€)	45,00	

### Vidros de Baixa Emissividade

O custo desta tecnologia é de 85€/m<sup>2</sup> segundo o Sr. José Carlos, representante da empresa *Covilis*.

O custo final da implementação da tecnologia foi calculado através de uma Regra de Três Simples, realizada entre os vidros duplos (custo final e custo/m<sup>2</sup> representados no Quadro C.6.) e os vidros *Low-E* de baixa emissão.

Sendo assim o quadro seguinte evidencia o custo de investimento desta tecnologia.

Quadro C.8. Isolamento com vidros de baixa emissividade

<b>Apartamento</b>	Apartamento	Vivenda
Área isolada (m <sup>2</sup> )	8,76	13,14
Custo / m <sup>2</sup>	85,00	
Custo total / habitação (€)	2090,00	3134,99

### • **Percentagem de Energia Poupada**

A base de dados europeia do modelo TIMES\_PT contém uma lista com as percentagens de energia que podem ser poupadas pela utilização de cada uma das tecnologias. Para a realização deste trabalho foram utilizados os valores europeus de percentagem de energia que cada tecnologia permite poupar face a uma situação sem isolamento, representados no Quadro C.9.

Quadro C.9. Percentagem de energia poupada atribuída às tecnologias de isolamento.

Tecnologia	Energia Poupada (%)
Isolamento do Pavimento	6,6
Isolamento do Telhado inclinado	6,5
Isolamento do Telhado plano	4,2
Isolamento de Paredes pelo exterior	19,1
Isolamento de Paredes pelo interior	18,1
Isolamento Janelas – Película	9,4
Isolamento Janelas – Vidros de baixa emissividade	10,6
Isolamento de Janelas – Vidros duplos	8,8

- **Energia útil necessária para aquecimento**

Este parâmetro foi estimado tendo em conta um projecto de um apartamento situado na localidade do Barreiro, de morada Casas de Santo António, lote3, piso 2º direito. O apartamento tem 90m<sup>2</sup>.

O projecto original realizado pelo Arquitecto Rui Vera-Cruz<sup>1</sup>, apresenta uma necessidade de energia para aquecimento de 19,77kWh/m<sup>2</sup>.ano.

No entanto, o apartamento em causa contém isolamento; é portanto necessário retirar as características isolantes desta habitação, de modo a se saber qual a necessidade de energia para aquecimento de um apartamento sem qualquer tipo de isolamento.

Na solução que se trata como não isolada, o apartamento compreende as seguintes características, sendo que U representa o coeficiente de transmissão térmica.

- Parede Simples não isolada, rebocada interior e exteriormente;  
 $U = 1,68\text{W/m}^2\text{°C}$
- Em zonas de ponte térmica (pilares e talões de viga) a parede é constituída por betão ( pilar) com 20 cm, rebocado pelo interior e exterior.  
 $U = 4,12\text{W/m}^2\text{°C}$
- O pavimento em contacto com o exterior é em laje maciça, não isolado, com revestimento assente directamente sobre betonilha de regularização.  
 $U = 2,50\text{W/m}^2\text{°C}$

Na solução que se trata como isolada as características do apartamento são:

- Parede simples isolada com poliestireno extrudido *Dryvit* com 60cm, rebocada interior e exteriormente;  
 $U=0,38\text{ W/m}^2\text{°C}$
- Em zonas de ponte térmica a parede é construída por betão ( pilar) com 20cm, isolada pelo exterior com poliestireno extrudido *Dryvit* com 60cm, rebocada interior e exteriormente  
 $U=0,492\text{ W/m}^2\text{°C}$
- O pavimento em contacto com o exterior é em laje maciça, sistema de cobertura invertida, isolada com placas de poliestireno expandido com espessura de 40cm, assente sobre betonilha de regularização.  
 $U=0,70\text{ W/m}^2\text{°C}$

Realizando os cálculos associados ao RCCTE, o valor de necessidades de energia útil aumentou para 76,86kwh/m<sup>2</sup>.ano. Multiplicando este valor pela média de metros quadrados existentes em cada apartamento – 76m<sup>2</sup> segundo o MURE - pelo número de apartamentos considerados de habitação permanente - 3551229 (INE, 2001) - obtém-se o valor de 33,5PJ por ano

---

<sup>1</sup> Professor da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa.

de energia necessária para aquecer os apartamentos portugueses. Neste caso serão contabilizadas apenas as habitações de primeira habitação, uma vez que o valor ficaria distorcido caso se considerassem todas as habitações existentes em Portugal incluindo as secundárias (de uso sazonal e secundário e casas de férias).

Para o cálculo das necessidades de energia útil para vivendas rurais e urbanas foi admitida a mesma relação existente entre os valores de energia útil necessária ao aquecimento dos apartamentos e vivendas europeias – com uma necessidade 25% maior para as vivendas (Base de dados do MURE ISIS), obtendo-se o valor de 44,5PJ para as necessidades de aquecimento para as vivendas portuguesas.

# ANEXO V

## Curvas de Oferta das Tecnologias englobadas pelo modelo

Nota: Em algumas tecnologias está mencionado o combustível LPG. Considere-se GPL – Gás de Petróleo Liquefeito.

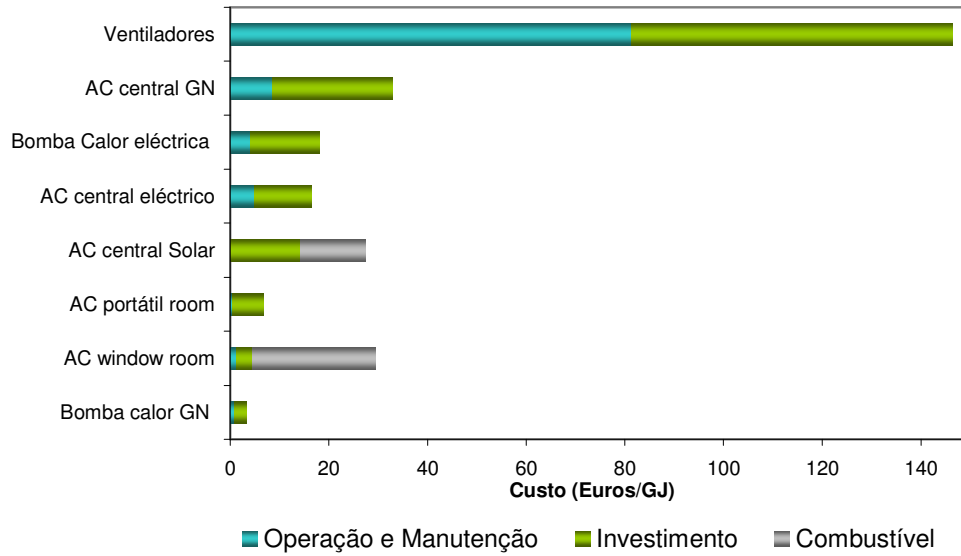


Figura A1. Curva de oferta das tecnologias de arrefecimento de espaço consideradas no modelo.

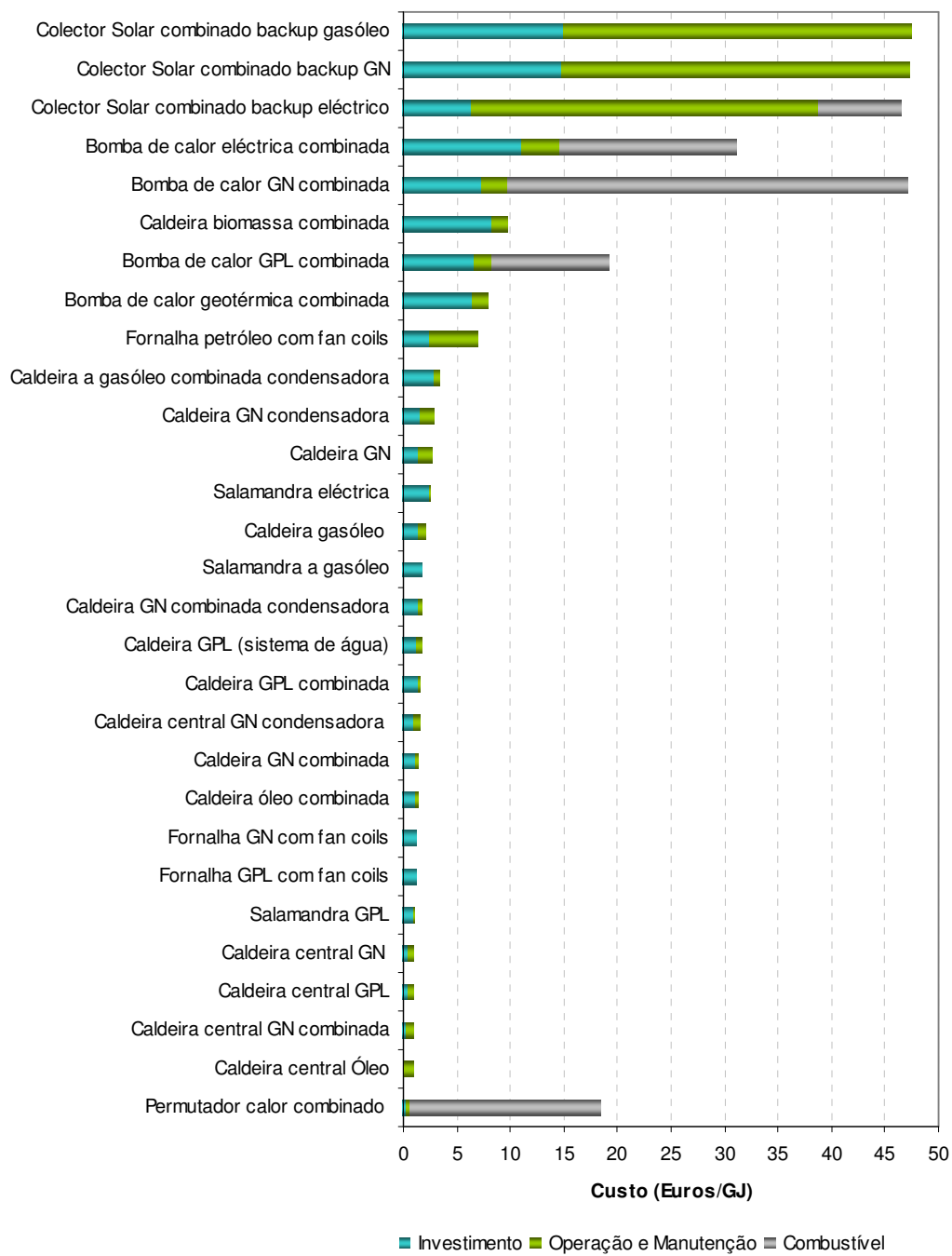


Figura A2. Curva de oferta das tecnologias de aquecimento de espaço nos apartamentos.

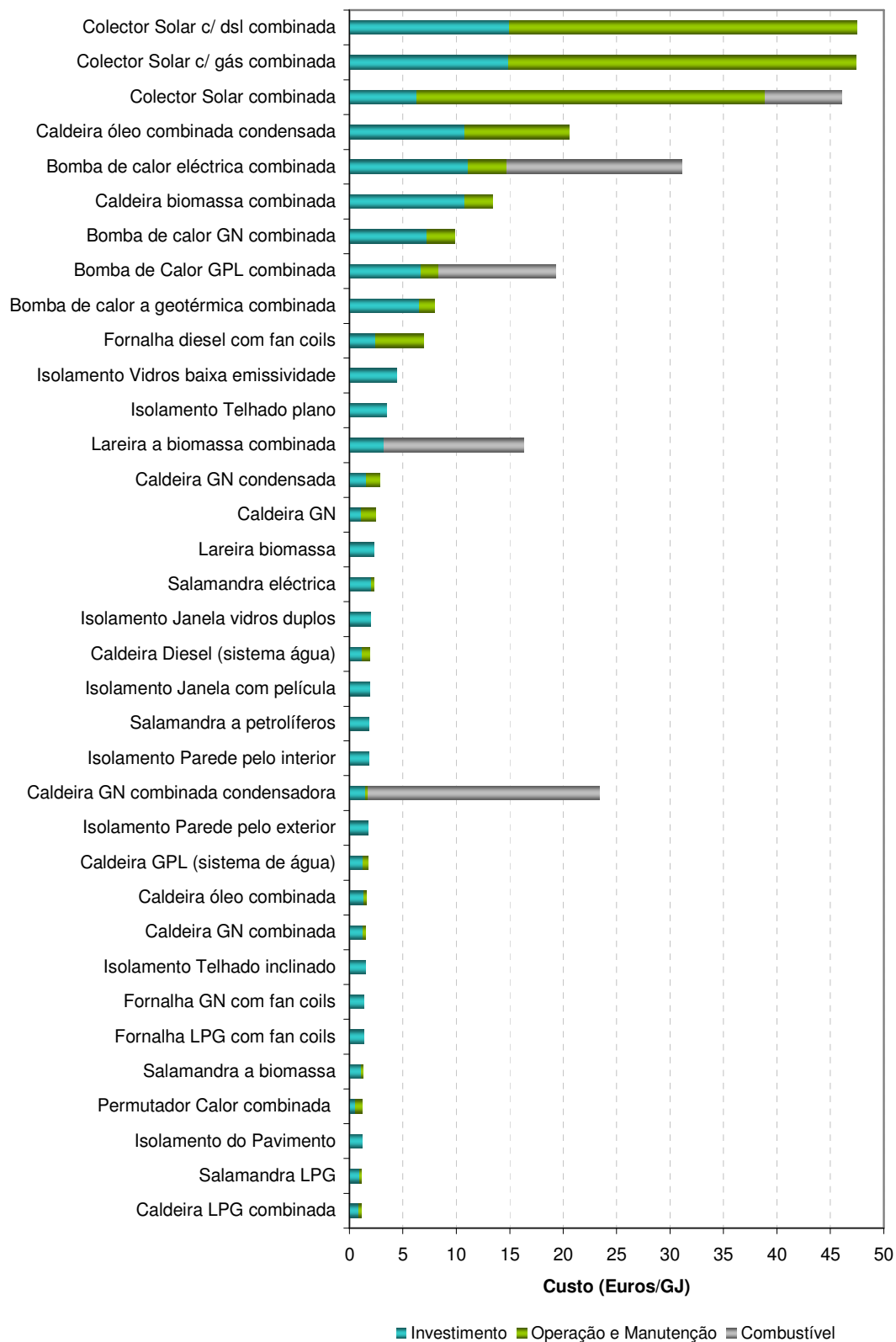


Figura A3. Curva de oferta das tecnologias de aquecimento de espaço nas vivendas rurais.



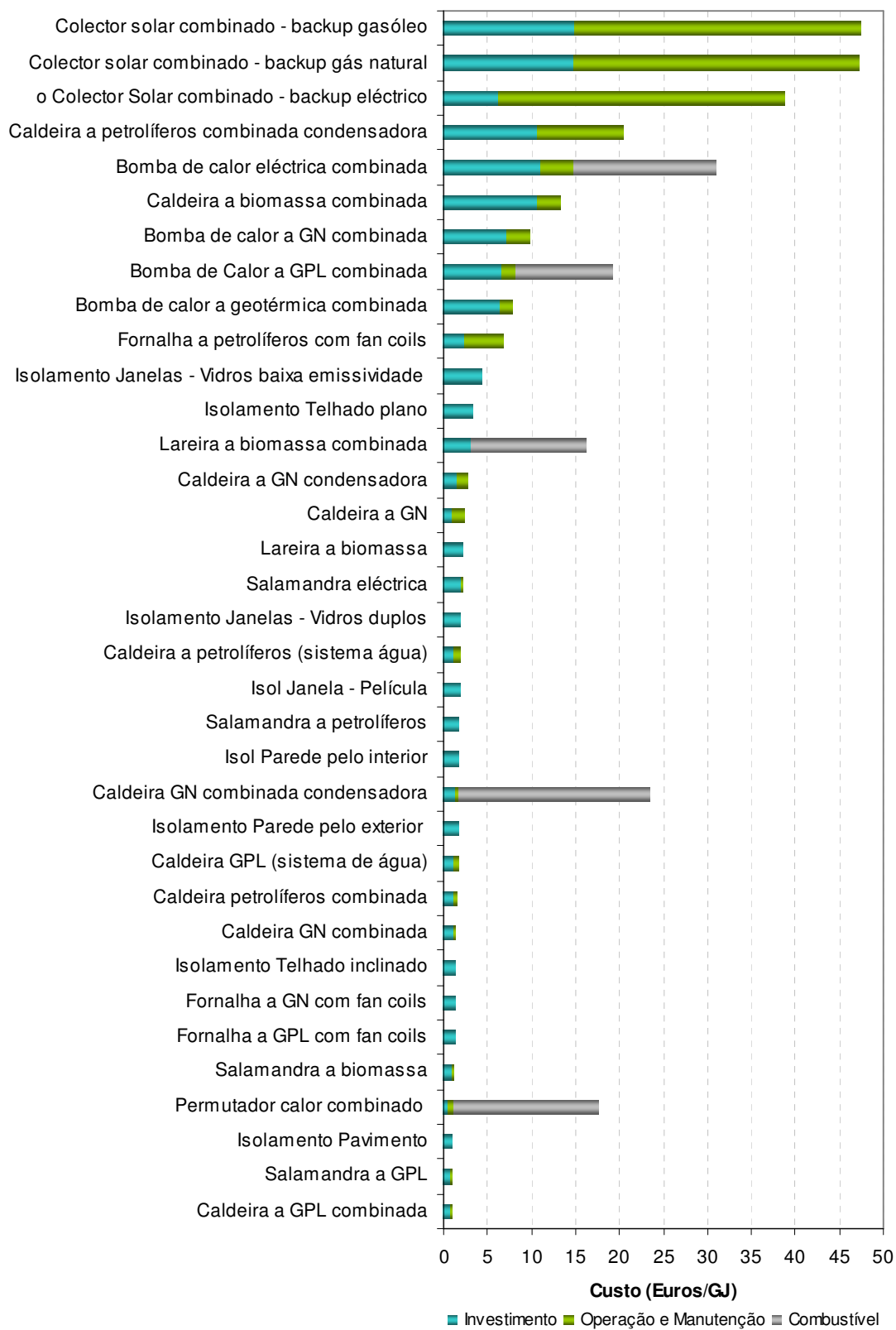


Figura A4. Curva de oferta das tecnologias de aquecimento de espaço nas vivendas urbanas.

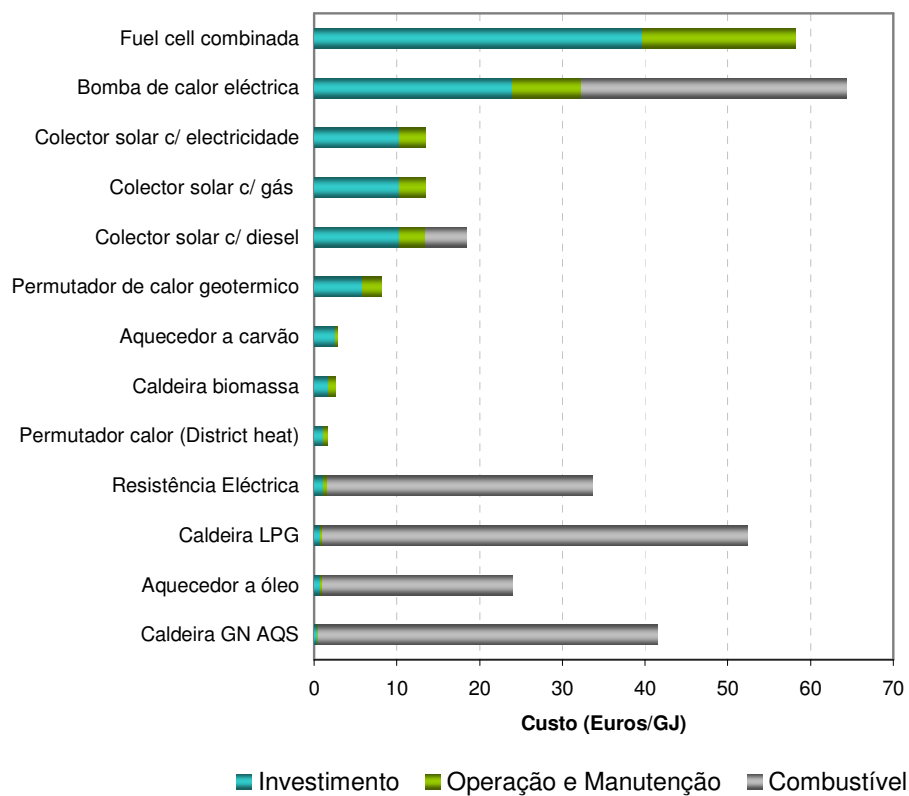


Figura A5. Curva de oferta das tecnologias de aquecimento de águas nos apartamentos

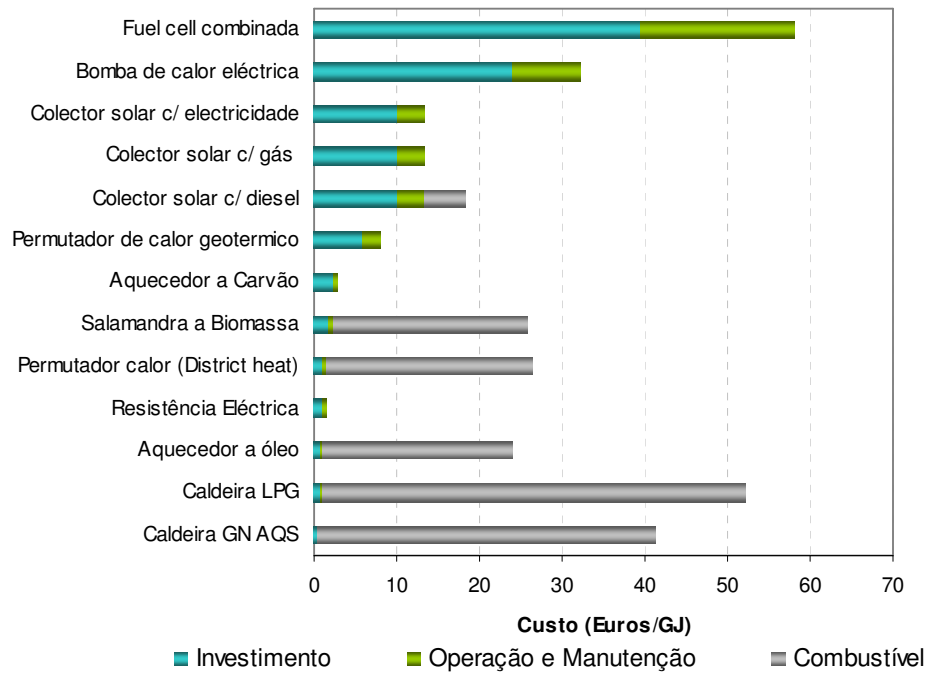


Figura A6. Curva de oferta das tecnologias de aquecimento de águas vivendas rurais

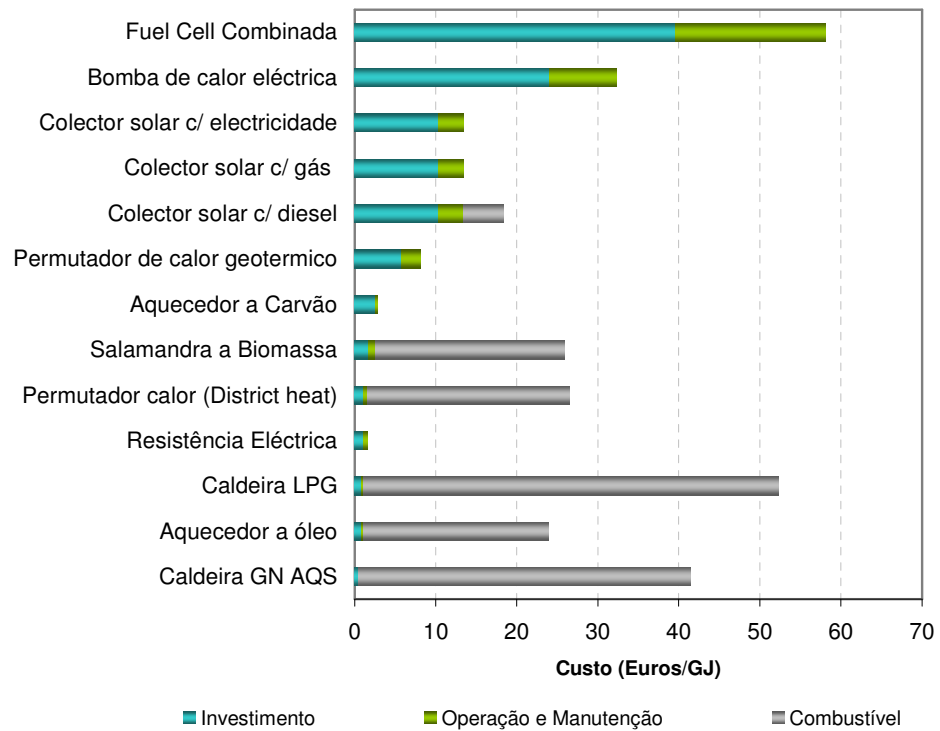


Figura A7. Curva de oferta das tecnologias de aquecimento de águas nas vivendas urbanas

Os Ares Condicionados Centrais – solar, a gás natural e eléctrico – são exclusivos dos apartamentos. As outras tecnologias são comuns a todos os tipos de habitação.

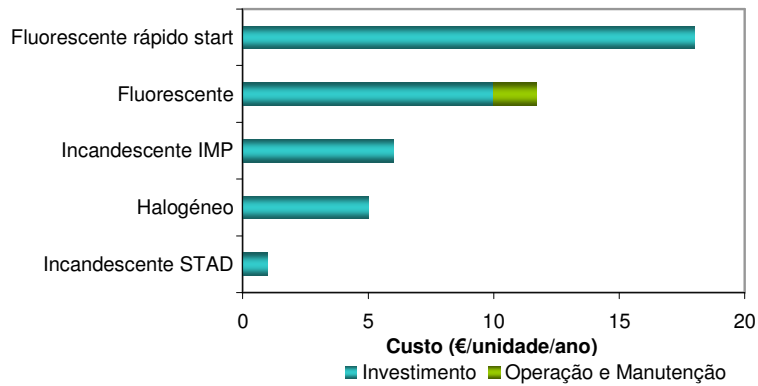


Figura A8. Curva de oferta das tecnologias de iluminação

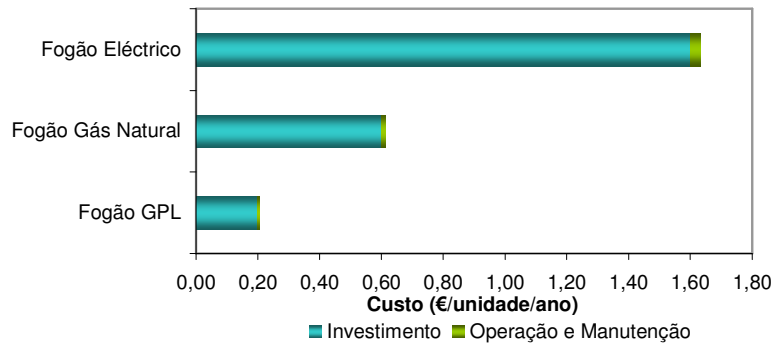


Figura A9. Curva de oferta das tecnologias de cozinha

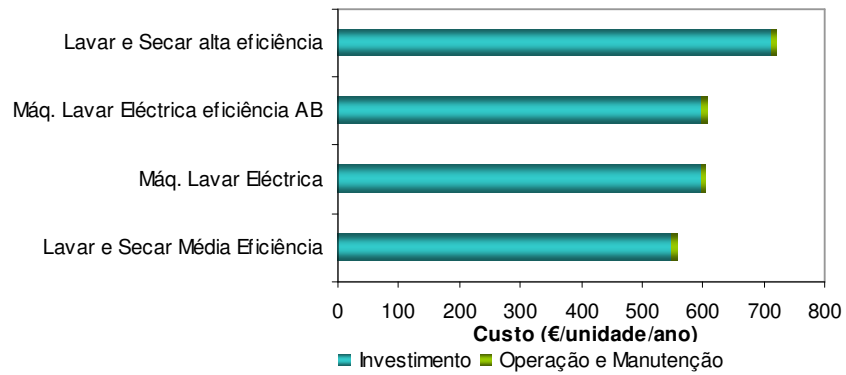


Figura A10. Curva de oferta de electrodomésticos de lavar e secar roupa.

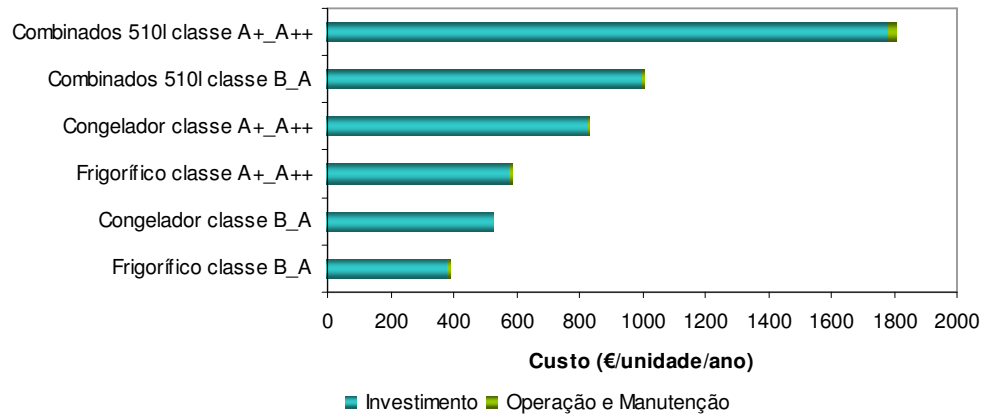


Figura A11. Curva de oferta de equipamentos de refrigeração de alimentos.

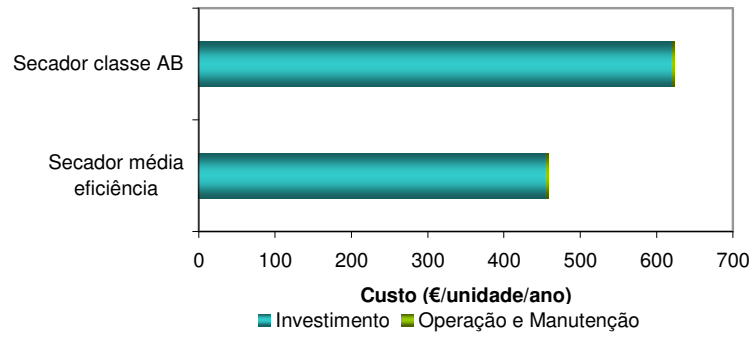


Figura A12. Curva de oferta de electrodomésticos de secar roupa.

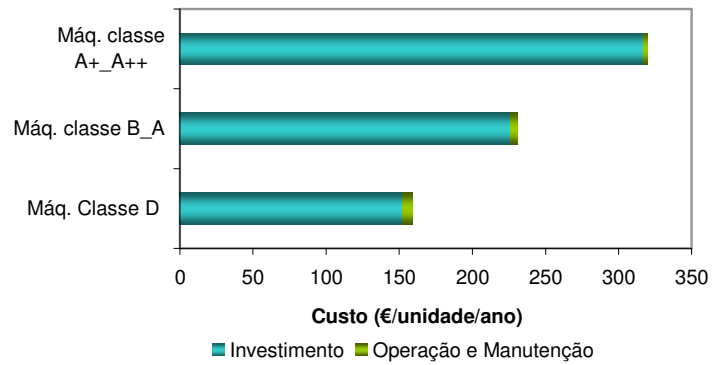


Figura A13. Curva de oferta de equipamentos de lavar loiça.

## Anexo VI

### Cálculos associados à validação da procura de serviços de energia

Para a análise da procura de serviços de energia através do Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE), há que considerar os seguintes índices (RCCTE):

$N_{ic}$  – necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento;

$N_{vc}$  – necessidades nominais anuais de energia útil para arrefecimento;

$N_{ac}$  – necessidades nominais anuais de energia para produção de águas quentes sanitárias;

$N_{tc}$  – necessidades globais de energia primária.

Sendo o país definido em zonas climáticas de Inverno e de Verão, como enunciado nas figs. 4.8 e 4.9 (RCCTE). Os índices anteriores são calculados com base nas seguintes condições de referência para conforto ambiente: temperatura do ar de 20°C para a estação de aquecimento e temperatura de 25°C e 50% de humidade relativa para a estação de arrefecimento (RCCTE). A título de curiosidade, este regulamento acrescenta que a taxa de referência para a renovação do ar para garantia da qualidade do ar interior é de 0,6 renovações por hora.

O consumo de referência de água quente sanitária para a utilização em edifícios de habitação é de 40L de água quente a 60°C por pessoa e por dia.

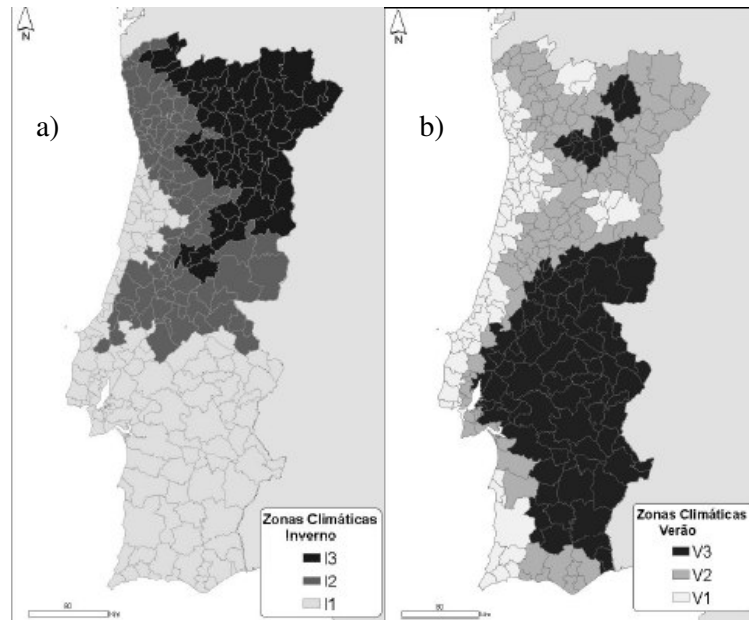


Figura A14. Zonas climáticas de Inverno (a) e de Verão (b) [RCCTE, Anexo III].

## Cálculo do Aquecimento

Segundo consta no artigo 15.º do RCCTE os valores limites das necessidades nominais de energia útil para aquecimento (Ni) de uma fracção autónoma, dependem dos valores do factor de forma da fracção autónoma (FF) e dos graus-dia (GD) do clima local. Considerando um Factor de Forma compreendido entre 0,5 e 1, vem:

$$\text{Para } 0,5 < FF \leq 1, Ni = 4,5 + (0,021 + 0,037FF) \text{ GD}$$

Recorrendo ao Quadro III.I do DL 80/2006, é possível ver qual a média de graus-dias dos concelhos pertencentes a cada uma das três zonas climáticas.

Analisando a figura 4.8 é considerado que 60% do território continental equivale à região I1, e 20% a cada uma das regiões I2 e I3, de modo a se calcular uma média ponderada entre os valores das três regiões, que é de 1635,6 °C. A duração da estação de aquecimento ronda os 6,3 meses.

Em seguida foram calculadas as necessidades máximas de aquecimento para as mesmas regiões, tendo em conta um factor de forma de 0,75, considerado um valor médio.

Quadro D.1. Graus-Dia médios de cada região climática de Inverno de Portugal continental e respectivas necessidades máximas de aquecimento, e valores médios portugueses.

Zona climática de Inverno	Graus-Dia (°C.dias)	Necessidade máxima de Aquecimento (Kwh/m <sup>2</sup> .ano)
I1	1314,7	68.6
I2	1773,8	91,0
I3	2460,0	124.4
I mediano	1635,6	84.2

Assim sendo, as necessidades de Aquecimento em Portugal continental não deverão ser superiores a 84,2KWh/m<sup>2</sup>.ano, para uma temperatura de conforto de 20°C.

Para comparar com os valores de procura provenientes do modelo TIMES\_PT, é necessário dividi-los pelo número de metros quadrados médios das habitações portuguesas – 100,2m<sup>2</sup>. Os valores de procura de energia para aquecimento segundo o modelo são então de 15,2 kWh/m<sup>2</sup> em 2010 e de 16,9kWh/m<sup>2</sup> para 2020.

No entanto, é necessário proceder a um ajustamento entre os valores uma vez que o modelo considera todas as habitações portuguesas existentes até 2000, enquanto que os cálculos segundo o presente DL apenas consideram as habitações localizadas no continente português.

Admitindo a percentagem de habitações do Continente de 96,09% do total português, de 2,1% para a Madeira e de 1,8% para as habitações dos Açores (INE, 2001), a procura de serviços de energia para aquecimento do Continente segundo o modelo Times é de:

- 14,6kWh/m<sup>2</sup> para 2010
- 16,37kWh/m<sup>2</sup> para 2020

A diferença registada entre os valores de procura de energia pelo modelo e os valores calculados pelo RCCTE centram-se no facto de o modelo considerar igualmente todas as habitações portuguesas (as de 1<sup>o</sup> e de 2<sup>a</sup> habitação).

De acordo com o Census 2001 do INE, em 2000, a percentagem de habitações portuguesas não permanentes é de 29,25%, sendo 10,8% casas de férias e 18,4% de habitações reservadas a uso sazonal ou outro uso secundário.

Assim, sendo, a procura de energia para aquecimento nas casas do continente português de habitação permanente segundo o modelo Times é de:

- 21,46 kWh /m<sup>2</sup> para 2010
- 23,98 kWh /m<sup>2</sup> para 2020

Tendo e conta que o limite máximo é de 84,2 kWh/m<sup>2</sup>.ano segundo o RCCTE, os valores de procura de energia para aquecimento dados pelo modelo TIMES\_PT não excedem os valores máximos admissíveis.

### **Cálculo do Arrefecimento**

Segundo o artigo 15.º do RCCTE os valores limites das necessidades nominais de energia útil para arrefecimento ( $N_v$ ) de uma fracção autónoma dependem da zona climática do local e são os seguintes:

- Zona V1 (Norte),  $N_v = 16\text{kWh/m}^2 \cdot \text{ano}$
- Zona V1 (Sul),  $N_v = 22\text{kWh/m}^2 \cdot \text{ano}$
- Zona V2 (Norte),  $N_v = 18\text{kWh/m}^2 \cdot \text{ano}$
- Zona V2 (Sul),  $N_v = 32\text{kWh/m}^2 \cdot \text{ano}$
- Zona V3 (Norte),  $N_v = 26\text{kWh/m}^2 \cdot \text{ano}$
- Zona V3 (Sul),  $N_v = 32\text{kWh/m}^2 \cdot \text{ano}$

Assumindo que 60% de Portugal Continental corresponde à Zona Climática de Verão V3, 25% a V2 e 15% a V1, calculou-se a média ponderada entre os valores limites das necessidades de aquecimento. O valor de 29,0kWh/m<sup>2</sup>.ano é então considerado um valor aceitável.

Através do Modelo Times\_PT, a procura de energia para arrefecimento nas habitações existentes em 2010 será de 3,13kWh/m<sup>2</sup>.ano. No entanto, ao desprezar as habitações de uso secundário, a



procura de energia para arrefecimento será de 4,46kWh/m<sup>2</sup>.ano. O valor encontra-se, pois, dentro do limite imposto pelo RCCTE.

### **Cálculo do AQS**

Segundo o artigo 15.º do RCCTE o limite máximo para os valores das necessidades de energia para produção de AQS (Na) é o definido pela equação seguinte:

$Na=0,081 \cdot MAQS \cdot nd / Ap$  (kWh/m<sup>2</sup>. ano), em que:

- MAQS é o consumo médio diário de referência de AQS que se calcula multiplicando 40,1 kWh pelo número médio de ocupantes de uma habitação que é de 2,8 (*Fonte -Dados do INE, Census 2001, Tabela de Main Characteristics Households*)
- Nd é o número anual de dias de consumo de AQS, que neste caso tratando-se de edifícios residenciais, serão 365 dias (DL 80/2006)
- Ap = área útil de pavimento, que equivale a 100,2m<sup>2</sup> por se tratar da média ponderada entre a área dos apartamentos e das vivendas.

Assim sendo o limite superior das necessidades de energia para AQS é de 33,13kWh/m<sup>2</sup>.ano, segundo o DL 80/2006.

O modelo considera uma procura de energia para AQS de 6,0kWh/m<sup>2</sup>.ano para 2010, o que significa que o valor de procura do TIMES\_PT é inferior aos limites.

### **Segundo o CEEETA**

Os valores de procura energética por tipo de uso foram divididos pelo número de habitações de uso permanente existentes em 2000 (INE, 2001b), e pela área média das habitações portuguesas em 2000, informação baseada no programa *MURE Odyssee Household*.