



Consumo Doméstico de Biomassa Lenhosa e Emissões Atmosféricas na Cidade de Bragança

Marta Catarina Couto Ferreira

*Dissertação apresentada à Escola Superior Agrária de Bragança
para obtenção do Grau de Mestre em Tecnologia Ambiental*

Orientado por
Manuel Joaquim Sabença Feliciano
João Carlos Martins Azevedo

**Bragança
2012**

AGRADECIMENTOS

Um especial agradecimento aos meus orientadores Professor Doutor Manuel Feliciano e Professor Doutor João Carlos Azevedo, pela disponibilidade e simpatia com que sempre me receberam, pelos valiosos ensinamentos, sugestões e ainda pelas oportunidades académicas proporcionadas.

Um especial obrigado...

... a todos aqueles que mostraram disponibilidade em cooperar e àqueles que o fizeram independentemente das solicitações,

... a todos aqueles a quem privei da minha companhia durante a realização da investigação e que pacientemente foram convivendo comigo nesta última fase de trabalho,

... aos meus pais, ao Armindo, pelo carinho, interesse e inestimável dedicação ao longo desta caminhada.

A todos, o meu muito obrigado.

Aos meus pais,
Maria José e Salas

RESUMO

A biomassa lenhosa é o recurso energético mais utilizado no mundo. Embora a combustão residencial de biomassa lenhosa se verifique essencialmente nos meses mais frios, constitui uma importante fonte de poluentes atmosféricos perigosos para o ambiente e para a saúde humana. Com base num inquérito desenvolvido na Primavera de 2012, foi estimado o consumo doméstico de biomassa lenhosa na cidade de Bragança, situada no Nordeste de Portugal. Realizou-se um total de 201 inquéritos presenciais distribuídos pelas três freguesias urbanas nomeadamente Sé, Santa Maria e Samil. O consumo anual de biomassa lenhosa foi estimado em cerca de 16765 toneladas, correspondente a um consumo anual médio de 4 toneladas por habitação utilizadora. A biomassa é utilizada em aproximadamente 45% dos alojamentos da cidade sendo maioritariamente de carvalho negral e freixo. A queima ocorre especialmente em lareiras fechadas que representam sensivelmente 72% dos equipamentos de combustão usados. Cerca de 85% da biomassa consumida é utilizada para o aquecimento das habitações, representando um contributo energético, no setor doméstico de aproximadamente 35%. Anualmente estima-se que sejam emitidas sensivelmente 1400 toneladas de poluentes atmosféricos (PM, SO_x, NO_x, CO, COV e PAH) e cerca de 28000 toneladas de gases de efeito estufa, GEE (CO₂, CH₄ e N₂O), provenientes da combustão residencial de biomassa lenhosa, que afetam negativamente o ar ambiente e o ar interior. Os resultados obtidos neste estudo são de grande utilidade, permitindo apoiar a definição e a implementação de políticas ambientais e energéticas a fim de reduzir emissões e melhorar a qualidade do ar ambiente em cidades de média e pequena dimensão.

PALAVRAS-CHAVE

Biomassa lenhosa, combustão doméstica, energia, poluentes atmosféricos, gases de efeito de estufa, inquéritos

ABSTRACT

Wood is the most used energy resource in the world. Although residential wood combustion (RWC) is used mainly during the colder months, it is a major source of air pollutants, dangerous for the environment and the human health. Based on an interview survey conducted in the spring of 2012, we estimated the biomass consumption in the residential setor in the city of Bragança, located in northeastern Portugal. We've conducted a total of 201 surveys distributed by three urban parishes including Sé, Santa Maria and Samil. The annual consumption of biomass was estimated as 16765 tons, corresponding to an annual average consumption of 4 tons per household. Biomass is used in approximately 45% of households in the city, mostly of black oak and ash. This biomass is used generally in woodstoves (72%). Near 85% of the woody biomass consumed is used for heating homes. The energy contribution in the domestic setor is about 35%. Annually 1400 tons of air pollutants (PM, SO_x, NO_x, CO, VOCs and PAHs) and 2800 tons of greenhouse gases, GEE (CO₂, CH₄ and N₂O), are emitted, which damage the environment and affect the indoor air quality. The results of this study are useful and permit supporting environmental and energy policies in order to reduce emissions and improve air quality in small-medium cities.

KEYWORDS

Biomass, RWC, energy, air pollutants, greenhouse gases, survey

ÍNDICE

Lista de Figuras, Tabelas e Anexos	vi
Abreviaturas, Unidades e Conversões	ix
1. Introdução	1
2. Enquadramento Teórico	5
2.1. Biomassa Lenhosa.....	5
2.2. Processo de Combustão	9
2.3. Sistemas de Combustão Doméstica.....	10
2.4. Poluentes Atmosféricos Emitidos durante a Combustão Residencial	15
2.5. Impactes associados à queima de biomassa lenhosa	19
2.6. Medidas Políticas Ambientais.....	22
3. Metodologia	25
3.1 Área de Estudo.....	25
3.2. Caracterização da Amostra.....	28
3.3 Inquérito.....	29
3.4 Metodologia de Cálculo de Consumos e Energia	30
3.5. Metodologia de Cálculo das Emissões Atmosféricas.....	30
4. Resultados	34
4.1. Características Gerais da Habitação.....	34
4.2. Padrão de Utilização de Fontes de Energia.....	35
4.2.1. Fontes Energéticas utilizadas no Aquecimento do Ar Ambiente	37
4.2.2. Fontes Energéticas utilizadas no Aquecimento de Águas Sanitárias	40
4.2.3. Fontes Energéticas utilizadas para Cozinhar	41
4.3. Padrão de Utilização de Biomassa Lenhosa e dos sistemas de combustão	42
4.4. Análise Energética e o Contributo da Biomassa Lenhosa	44
4.5. As Emissões de Poluentes Atmosféricos e GEE.....	46
5. Análise Comparativa dos Resultados	49
5.1. Padrão de Utilização e Consumos Energéticos.....	49
5.2. Poluentes Atmosféricos e GEE	53
6. Avaliação do Potencial de Redução de Emissões	55
6.1 Cenários de Estudo	55
6.2 Estratégia de redução de emissões	58
7. Considerações Finais	59
Referências Bibliográficas	61
Anexos	71

LISTA DE FIGURAS, TABELAS E ANEXOS

LISTA FIGURAS

Figura 1: Consumos energéticos no setor residencial em Portugal, 1990 e 2010 (Fonte: APA, 2012)	1
Figura 2: Diferenças entre estufa catalítica e estufa não catalítica (Fonte: Foster et al., 2011)	12
Figura 3: Ilustração de uma lareira com recuperador de calor (Adaptado de Euroventil)	13
Figura 4: Ilustração de um queimador com recuperador de calor a água (Adaptado de Sítio das Lareiras)	13
Figura 5: Queima de lenha numa estufa convencional a baixa temperatura (Adaptado de Houck, s/data)	15
Figura 6: Emissões atmosféricas no setor residencial, União Europeia (Adaptado de EEA, 2012)	17
Figura 7: Proporção de poluentes atmosféricos libertados durante a combustão residencial (Adaptado de APA, 2012)	17
Figura 8: Relação entre os poluentes atmosféricos e os efeitos na saúde humana e meio ambiente (Adaptado de EEA, 2012)	20
Figura 9: Área de Estudo, Península Ibérica	25
Figura 10: Cidade de Bragança	26
Figura 11: Perímetro urbano da cidade de Bragança (Fonte: Carvalho et al., 2008)	27
Figura 12: Características da habitação: orientação da fachada principal	34
Figura 13: Distribuição de fontes energéticas consumidas na cidade de Bragança	35
Figura 14: Estimativa do número de residências e residentes utilizadores das diferentes fontes energéticas	36
Figura 15: Fontes energéticas utilizadas no aquecimento do ar ambiente	38
Figura 16: Equipamentos utilizados para aquecimento em função do ano de construção da residência	39
Figura 17: Fontes energéticas utilizadas no aquecimento de águas sanitárias	40
Figura 18: Fontes energéticas utilizadas para cozinhar	41
Figura 19: Taxa de funcionamento mensal dos sistemas de combustão doméstica	41
Figura 20: Composição das emissões de poluentes atmosféricos provenientes da combustão de biomassa lenhosa na cidade de Bragança	47
Figura 21: Emissões anuais de CO, COV, NO _x , PAH, PM ₁₀ e PM _{2,5} : valor baixo, elevado, médio e frequente (Ton/ano)	48
Figura 22: Cenário de emissão total de poluentes atmosféricos por espécie florestal na residencial (Ton/ano)	56
Figura 23: Cenário de emissões de GEE por espécie florestal (Ton/ano)	57

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Composição química da biomassa lenhosa (Fonte: <i>Silva, 2010</i>)	7
Tabela 2: Características físico-químicas da biomassa lenhosa (Fonte: <i>Quirino et al., 2005; Matias, 2010</i>)	8
Tabela 3: Sistemas de combustão doméstica (Fonte: <i>EPA, 2001; Trozzi, 2009; Foster et al., 2011</i>) ..	10
Tabela 4: Número famílias utilizadoras de equipamentos para aquecimento do ar ambiente, Censos 2001 (Fonte: <i>INE, 2001</i>)	14
Tabela 5: Equipamentos para aquecimento do ar ambiente em Portugal (Fonte: <i>DGEG, 2011</i>)	14
Tabela 6: Descrição dos principais poluentes emitidos durante a combustão doméstica (Fontes: <i>McDonald et al., 2000; Basur et al., 2001; Boman et al., 2003; Tissari, 2008; Trozzi, 2009; Costa, 2009; Gomes, 2010</i>)	15
Tabela 7: Estimativa das emissões atmosféricas do setor residencial para o concelho de Bragança, 2008 e 2009 (Fonte: <i>APA, 2010 e APA, 2011</i>)	18
Tabela 8: Relação das emissões no concelho de Bragança com o total de emissões nacional, 2009 (Fonte: <i>APA, 2011</i>)	18
Tabela 9: Descrição dos efeitos na saúde humana e no meio ambiente dos vários poluentes (Fonte: <i>Basur, 2002; Arbex et al., 2004; Gomes, 2010; EEA, 2012</i>)	21
Tabela 10: Ficha Climatológica 1971-2000: Bragança (Adaptado de <i>IM, s/data</i>)	26
Tabela 11: Dados meteorológicos da cidade de Bragança entre Novembro de 2011 a Outubro de 2012 (Fonte: <i>ESA, 2012</i>)	27
Tabela 12: Distribuição geográfica dos inquéritos por freguesia	28
Tabela 13: Valores de PCI utilizados no cálculo de emissões (kJ/kg)	31
Tabela 14: Fatores de emissão utilizados no cálculo de emissões atmosféricas: valores médios (kg/k)	32
Tabela 15: Fatores de emissão utilizados no cálculo de emissões de NO _x , CO, COV, PM ₁₀ , PM _{2,5} e PAH (V Baixo; V Elevado; V Médio; V Frequente)	33
Tabela 16: Características da habitação, envidraçados exteriores	34
Tabela 17: Contribuição relativa de cada fonte energética por tipo de utilização/função	36
Tabela 18: Estimativa do peso de cada fonte energética por tipo de utilização	37
Tabela 19: Relação do consumo energético por residências para aquecimento do ar ambiente	38
Tabela 20: Período de utilização dos sistemas de aquecimento do ar ambiente	39
Tabela 21: Relação do consumo energético por residências para aquecimento de águas sanitárias	40
Tabela 22: Relação do consumo energético por residência para cozinhar	42
Tabela 23: Estimativa do consumo de biomassa lenhosa por espécie florestal e equipamento (Ton/ano)	43
Tabela 24: Período de funcionamento dos queimadores a biomassa lenhosa (horas do dia)	44
Tabela 25: Consumo energético total, residencial e per capita por fonte energética (GJ/ano)	44
Tabela 26: Consumo energético por alojamentos utilizadores e consumidores (GJ/ano)	45

Tabela 27: Consumo energético anual por tipo de utilização (GJ/Ano)	45
Tabela 28: Consumo energético residencial na cidade de Bragança (apartamento e moradia) (GJ/ano)	46
Tabela 29: Total de emissões de poluentes atmosféricos (Ton/ano).....	46
Tabela 30: Variação anual de emissões (diferença entre valores mais baixos e valores mais elevados).....	48
Tabela 31: Relação dos consumos totais no setor doméstico em Portugal Continental no ano 2010 (DGEG, 2011) e a Cidade de Bragança em 2011-12 (resultados do estudo).....	49
Tabela 32: Consumos anuais por alojamento em Portugal Continental, 2010 (DGEG, 2011) e a Cidade de Bragança, 2011-12 (resultados do estudo)	50
Tabela 33: Consumos energéticos por função entre Portugal Continental (PC), em 2010 (DGEG, 2011) e a cidade de Bragança (CB), em 2011-12 (resultados do estudo).....	50
Tabela 34: Consumos de lenha entre o distrito de Bragança, em 2010 (Gonçalves <i>et al.</i> , 2001) e a cidade de Bragança, em 2011 -12 (resultados do estudo)	51
Tabela 35: Consumos energéticos no Concelho de Bragança, em 2009 (Ferreira <i>et al.</i> , 2009) e na Cidade de Bragança, em 2011-12 (resultados do estudo).....	51
Tabela 36: Variação do número de utilizadores na cidade de Bragança, em 2001 (INE, 2001) e em 2011-12 (resultados do estudo)	52
Tabela 37: Análise de emissões de PM _{2,5} CO e CO ₂ , no concelho de Bragança, em 2011 (Gonçalves <i>et al.</i> , 2012) e cidade de Bragança, em 2011-12 (resultados do estudo)	53
Tabela 38: Análise de emissões totais e emissões no setor residencial do concelho de Bragança em 2009 (APA 2010 e APA 2011) e emissões residenciais na cidade de Bragança (resultados do estudo)	54
Tabela 39: Comparação das emissões de poluentes atmosféricos no concelho de Bragança, em 2009 no setor da indústria, transportes, resíduos/efluentes e agricultura/pecurária (APA,2011) com as emissões residenciais na cidade de Bragança 2011-12 (resultados do estudo).....	54
Tabela 40: Cenário de redução de emissões de CO, PM ₁₀ , PM _{2,5} , COV, PAH, CO ₂ , CH ₄ e N ₂ O recorrendo à utilização exclusiva de equipamentos de tecnologia moderna na cidade de Bragança	55
Tabela 41: Cenário de redução de emissões recorrendo à combustão exclusiva de lenha de castanheiro na cidade de Bragança	57

ANEXOS

Anexo I: Análise de Significância Estatística.....	71
Anexo II: Inquérito	72
Anexo III: Valores de Poder Calorífico	76
Anexo IV: Valores de Fatores de Emissão.....	77

ABREVIATURAS, UNIDADES E CONVERSÕES

ABREVIATURAS

AIE	Agência Internacional de Energia
AEA	Agência Europeia do Ambiente
APA	Agência Portuguesa do Ambiente
DAE	Diâmetro Aerodinâmico Equivalente
DGEG	Direção Geral de Energia e Geologia
EPA	Environmental Protection Agency
GEE	Gases de Efeito de Estufa
GPL	Gás de Petróleo Liquefeito
FE	Fator de Emissão
ICNF	Instituto da Conservação da Natureza e das Florestas
INE	Instituto Nacional de Estatística
OMS	Organização Mundial da Saúde
PC	Poder Calorífico
PCI	Poder Calorífico Superior
PCS	Poder Calorífico Inferior
UE	União Europeia

ELEMENTOS E SUBSTÂNCIAS QUÍMICAS

As	Arsénio
Cd	Cádmio
CH ₄	Metano
C	Carbono
Cd	Cádmio
Cl	Cloro
CO	Monóxido de Carbono
CO ₂	Dióxido de Carbono
COV	Compostos Orgânicos Voláteis
Cr	Crómio
Cu	Cobre

Hg	Mercúrio
HCB	Hexaclorobenzeno
NH ₃	Amónia
Ni	Níquel
NMCOV	Compostos Orgânicos Voláteis Não Metânicos
NO	Monóxido de Azoto
NO _x	Óxidos de Azoto
N ₂ O	Óxido Nitroso
O ₂	Oxigénio
PAH	Hidrocarbonetos Aromáticos Policíclicos
Pb	Chumbo
PCB	Bifenilos Policlorados
PCCD/F	Dioxinas/Furanos
PM _{2,5}	Matéria particulada com diâmetro aerodinâmico equivalente inferior a 2,5 µm
PM ₁₀	Matéria particulada com diâmetro aerodinâmico equivalente inferior a 10 µm
PST	Partículas Suspensas Totais
SO _x	Óxidos de Enxofre
SO ₂	Dióxido de Enxofre
Se	Selénio
Zn	Zinco

UNIDADE DE MEDIDA

%	Percentagem	kWh	Quilowatt hora
GJ	GigaJoule	m ³	Metro cúbico
GWh	GigaWatt hora	µm	Micrómetro
kg	Quilograma	Ton	Tonelada
kL	Quilolitro	W	Watt

CONVERSÕES

m ³	11,975201 kWh	Ton Gás Garrafa	46 GJ
kL Gasóleo	0,839 Ton	Ton Gasóleo	42,6 GJ
kWh	0,0036 GJ	Ton Lenha	14,65 GJ

1. INTRODUÇÃO

A biomassa lenhosa é uma fonte primária de energia com elevada tradição no setor doméstico sendo utilizada para aquecimento das habitações, aquecimento de águas sanitárias e preparação de alimentos (Boman *et al.*, 2003; Henriques, 2006). Segundo Quirino *et al.* (2005) é um recurso energético bastante procurado uma vez que a combustão direta de biomassa é o processo mais prático e económico para obter energia.

Em Portugal, segundo o Inquérito ao Consumo de Energia no Setor Doméstico (DGEG, 2011), o consumo energético tem vindo a sofrer alterações consideráveis nos últimos anos. Embora a biomassa lenhosa se apresente como o recurso com maior disponibilidade e o mais barato comparativamente a outras fontes energéticas (eletricidade, gás natural, gás garrafa e gasóleo) tem vindo a perder relevância nos últimos anos. Se em 1989 é a fonte mais consumida nos alojamentos portugueses, com um peso de 60,3%, em 1996 regista-se uma diminuição do consumo para 41,9% (DGEG, 2011). Em 2010 a eletricidade surge como a principal fonte energética nos alojamentos, com uma taxa de utilização de 42,6%, seguindo-se a lenha com um peso de 24,2% (DGEG, 2011).

O relatório apresentado pela Agência Portuguesa do Ambiente (APA, 2012) salienta as variações nos últimos vinte anos dos consumos domésticos de 10 fontes energéticas: biodiesel, carvão, lenha, gás natural, gás de cidade, gás de garrafa, gasolina de motor, querosene, gasóleo e petróleo residencial. Verifica-se uma redução acentuada do consumo de lenha, o desaparecimento de fontes energéticas como o petróleo residencial e o gás de cidade e o aumento do consumo de gás natural (Figura 1).

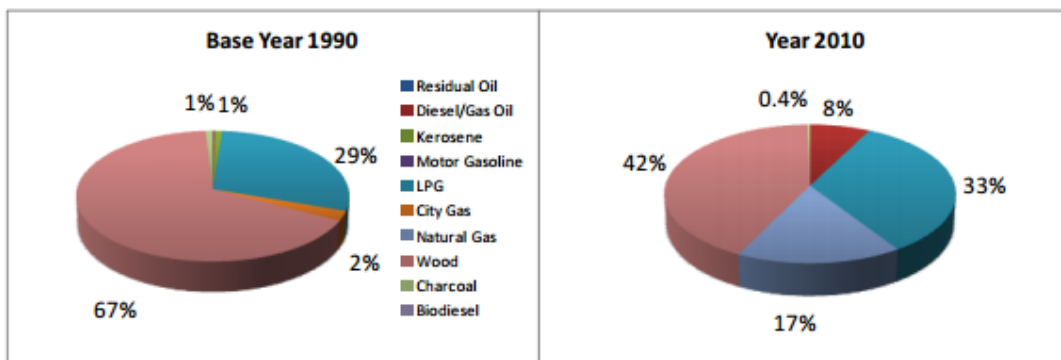


Figura 1: Consumos energéticos no setor residencial em Portugal, 1990 e 2010 (Fonte: APA, 2012)

O consumo doméstico de biomassa lenhosa varia de acordo com a função associada ao seu uso (DGEG, 2011). Dados de 2010 mostram que a lenha se mantém como o principal recurso energético para o aquecimento de ar ambiente, representando cerca de 52% do

consumo total de energia usada para esse fim (DGEG, 2011). Na cozinha apresenta-se como a segunda fonte energética mais utilizada, com uma taxa de utilização de aproximadamente 42,1% (DGEG, 2011). No aquecimento de águas tem uma taxa de utilização de 5,9%.

A combustão residencial de biomassa lenhosa ocorre essencialmente nos meses mais frios, e apresenta vantagens significativas relativamente a outras fontes (Wakelin, 2008) uma vez que as emissões de CO₂ têm efeito neutro para o forçamento radiativo, devido ao facto do CO₂ libertado no decorrer da combustão ser recapturado no crescimento da nova floresta. A biomassa lenhosa é um recurso disponível e renovável, se gerido de forma sustentável. Apresenta benefícios económicos locais e permite a redução de dependência de energias fósseis.

Numa perspetiva urbana local, o uso extensivo de biomassa para energia apresenta igualmente inúmeras desvantagens uma vez que afeta gravemente a qualidade do ar em áreas residenciais (Boman *et al.*, 2003) devido à emissão de poluentes atmosféricos que degradam a qualidade do ar ambiente e do ar interior, prejudiciais à saúde humana e ao meio ambiente (Torres-Duque *et al.*, 2008). No decorrer da queima, são emitidas quantidades substanciais de gases e partículas poluentes, como o monóxido de carbono (CO), compostos orgânicos voláteis (COV), hidrocarbonetos aromáticos policíclicos (HAP), matéria particulada (PM₁₀ e PM_{2,5}) e gases ácidos (NO_x, SO_x) (Williams *et al.*, 2012), ainda que a informação existente sobre as mesmas seja escassa (Gonçalves 2008).

A preocupação com as consequências que provêm da combustão residencial de biomassa lenhosa, impulsionou o desenvolvimento de investigação sobre o tema. Inicialmente, estudos como o de Kowalczyk *et al.* (1981) permitiram identificar vários parâmetros gerais que influenciam as emissões, dos quais se enumeram os seguintes: a relação entre massa de combustível por taxa de queima leva ao aumento das emissões; cargas maiores de combustível ou taxas de queima mais lentas, levam ao aumento de emissões; aproximadamente metade das emissões de partículas são emitidas durante a primeira hora de aquecimento; equipamentos projetados para gaseificar a madeira e de seguida queimar o gás, não reduzem as emissões de forma significativa; o sistema de aquecimento catalítico da época não reduz as emissões conforme previsto. As investigações de Burnet *et al.* (1986) mostram que queimadores mais pequenos têm cerca de metade dos fatores de emissão dos queimadores maiores a taxas semelhantes de queima e que quantidades maiores de lenha no queimador conduzem ao aumento das emissões. Estudos mais recentes permitem acrescentar conhecimentos ao tema, a maioria incidindo na

caraterização de poluentes emitidos durante a combustão residencial, como material particulado (PM₁₀ e PM_{2,5}) ou hidrocarbonetos aromáticos policíclicos (PAH) e ainda aldeídos (McDonald *et al.*, 2000; Fine *et al.*, 2001; Illerup *et al.*, 2004; Karvosenoja *et al.*, 2004; Boman, 2005; Schmild *et al.*, 2008; Tissari, 2008; Caseiro *et al.*, 2009; Holden *et al.*, 2011; Gonçalves, 2011; Gomes, 2011).

Nos últimos anos a Comissão Europeia tem lançado várias iniciativas que visam a melhoria da qualidade do ar, dentro das quais se destaca o Plano de Ação para a Energia Sustentável – PAES, que tem como objetivos a redução de emissões nos vários setores de atividades em mais de 20% até 2020, a aplicação de medidas de eficiência energética e promoção das energias renováveis. Neste sentido surge o Pacto dos Autarcas através do qual se pretende que os municípios aderentes reduzam as suas emissões de CO₂ (Green Value, 2012). No setor residencial estas medidas identificam a bioenergia como uma potencial fonte de energia, uma vez que é considerada limpa e renovável, juntamente com a energia solar e eólica. O incentivo à utilização de combustíveis renováveis ou combustíveis com emissões neutras de CO₂, como é o caso da lenha (Wakelin, 2008) permite reduzir a dependência dos combustíveis fósseis, favorecer a economia local e cumprir as metas autárquicas estabelecidas no pacto autárquico neste setor.

O conhecimento referente às quantidades de biomassa lenhosa consumidas por residência, a relação entre os equipamentos de combustão utilizados e as emissões atmosféricas resultantes é escasso. Atualmente sabe-se que as emissões de poluentes dependem de hábitos de aquecimento local, da qualidade do queimador, propriedade do combustível e das condições meteorológicas. O conhecimento das práticas de combustão residencial de biomassa lenhosa é, portanto, essencial para melhorar o inventário de emissões e para tomar decisões regulatórias para o controlo de emissões e implementação de programas de mitigação de alterações climáticas e/ou qualidade do ar.

A presente dissertação, realizada no âmbito do mestrado em Tecnologia Ambiental da ESA/IPB, visa essencialmente a caraterização da combustão doméstica de biomassa lenhosa e das emissões atmosféricas na Cidade de Bragança, de modo a aumentar o conhecimento relativo aos consumos de biomassa por residência, tipos de equipamentos utilizados e emissões atmosféricas resultantes. A estratégia adotada na realização do trabalho baseou-se na realização de um inquérito presencial, na cidade de Bragança, que teve como objetivo o levantamento de informação referente ao comportamento da população, as características de combustão e consumos energéticos anuais.

A presente dissertação pretende contribuir para o esclarecimento do impacto da combustão doméstica na cidade, alertando para o problema das emissões atmosféricas resultantes do consumo doméstico de biomassa lenhosa. Espera-se que este trabalho contribua para a implementação de boas práticas de utilização e manutenção na residência ou ainda de procura de soluções alternativas. O estudo desenvolvido será útil para apoiar a tomada de decisão sólida, por parte dos dirigentes, para melhoria da qualidade do ar em cidades pequenas e médias, como é o caso de Bragança.

Após o presente capítulo de introdução ao tema e descrição do estudo e objetivos científicos do mesmo, o presente documento é composto por mais seis capítulos.

O segundo capítulo descreve a combustão residencial de biomassa lenhosa. Faz-se referência aos vários queimadores, apresentam-se as características da biomassa lenhosa, poluentes atmosféricos emitidos durante a combustão residencial, os efeitos ambientais e por fim as medidas políticas.

No terceiro capítulo é descrita a metodologia aplicada no decorrer do trabalho, apresenta-se a área de estudo, é feita a caracterização da amostra, descreve-se o inquérito aplicado, apresenta-se a metodologia adotada para o cálculo de consumos energéticos e emissões atmosférica onde é feita referência aos fatores de emissão e valores de poder calorífico utilizados.

No quarto capítulo expõem-se os resultados obtidos da aplicação do inquérito, que permitem determinar os consumos domésticos das várias fontes energéticas e o contributo energético da biomassa lenhosa no setor doméstico. Segue-se a análise das emissões atmosféricas e gases de efeitos de estufa resultantes da combustão doméstica.

No quinto capítulo é feita a análise de resultados para o consumo energético e emissões atmosféricas.

No sexto capítulo apresentam-se cenários de estudo para avaliar o potencial de redução das emissões, são ainda apresentadas estratégias para melhoria da eficiência de combustão.

O sétimo capítulo restringe-se às considerações finais.

2. ENQUADRAMENTO TEÓRICO

2.1. BIOMASSA LENHOSA

A biomassa lenhosa apresenta-se como a mais antiga fonte de energia utilizada no mundo para aquecimento e preparação de alimentos, uma vez que a lenha é um recurso renovável e a forma mais simples de aquecimento doméstico.

A Diretiva Europeia 2009/28/CE de 23 de Abril, define biomassa como sendo “*a fração biodegradável de produtos, resíduos e detritos de origem biológica provenientes da agricultura (incluindo substâncias de origem vegetal e animal), da exploração florestal e de indústrias afins, incluindo da pesca e da aquicultura, bem como a fração biodegradável dos resíduos industriais e urbanos*”. O consumo residencial de biomassa lenhosa refere-se à biomassa proveniente da exploração florestal, nomeadamente lenha/madeira, pellets e briquetes.

A biomassa continua a ser um recurso energético utilizado mundialmente, contudo é nos países em desenvolvimento que se regista um maior consumo. Segundo o relatório da Agência Internacional de Energia (IEA, 2006) em 2004 regiões como Norte de África, Índia, China, Indonésia, Brasil, restante Asia, restante América Latina e Africa Subsaariana cerca de 2528 milhões de pessoas utilizam a biomassa como principal combustível para cozinhar, nos meios rurais é utilizada por cerca de 83% da população e em meios urbanos por 23%.

Em Portugal a principal fonte de biomassa é a floresta que representa um terço da área total do País. Estima-se que sejam queimadas anualmente cerca de 390000 toneladas de biomassa florestal, nos mais diversos setores (Dias, 2002). No setor residencial estima-se que sejam anualmente queimadas cerca de 2 Mton de lenha por aproximadamente 3 milhões e meio de habitantes, o que corresponde a um total de 37% da população (Gonçalves *et al.*, 2012). A quantidade média de biomassa lenhosa usada por ano, por agregado familiar varia consoante a zona (rural ou urbana) e clima, dependendo também da disponibilidade e do preço da lenha. O distrito que regista maior consumo anual por agregado familiar é Bragança com consumo anual de 2,8 toneladas (registando uma variação anual no consumo de 1,9 a 3,6 toneladas por residência). Seguem-se ao de Bragança os distritos de Vila Real e Viseu. Os distritos de Lisboa e Faro são os que apresentam menor consumo anual por residência, nomeadamente 0,9 e 1 tonelada respetivamente (Gonçalves *et al.*, 2012).

Em termos energéticos, a biomassa lenhosa é um recurso útil e importante para a produção de energia elétrica. Em Portugal a EDP apostou na Central Termoelétrica de Mortágua, que faz o aproveitamento de resíduos florestais para produzir energia elétrica. Esta central apresenta anualmente uma produção de 60 GWh, equivalente a 7500 horas e uma disponibilidade de 85%, fornecendo energia elétrica a cerca de 35000 habitantes na localidade, é a maior central existente no país.

Com o atual aumento dos preços dos combustíveis fósseis, as dúvidas quanto ao futuro dos mesmos e as preocupações ambientais permitem eleger a biomassa como uma fonte energética viável do ponto de vista técnico e económico, podendo vir a ser o principal recurso para aquecimento do ar ambiente.

Espécies Florestais

As espécies florestais utilizadas para biomassa variam de país para país e de região para região, em função da distribuição geográfica, da disponibilidade e custos.

Na Austrália, as espécies florestais mais consumidas são do género *Eucalyptus* (90%) havendo igualmente consumo de resinosas (DSEWPC, 2002). Não é conhecida a quantidade de madeira tratada e pintada que é queimada. Embora se considere uma proporção relativamente pequena, não deve ser menosprezada devido às emissões mais tóxicas que estão associadas à sua queima.

Em Portugal, as espécies florestais mais comuns são o Pinheiro bravo - *Pinus pinaster* e Eucalipto - *Eucalyptus globulus*. O baixo custo e a elevada abundância tornam a madeira destas espécies como as principais fontes de lenha para a combustão residencial (Gonçalves *et al*, 2010). Segundo a Inquérito ao consumo de energia no setor doméstico, ICESD (DGE,2011), o consumo de biomassa lenhosa a nível nacional é maioritariamente de pinho (37,4%), eucalipto (21,2%), azinho (7,4%), sobreiro (5,7%) e resíduos florestais (4,2%). Pellets e briquetes representam 24,0% do consumo. Relativamente à sua obtenção, cerca de 40% da lenha consumida é comprada, 37% apanhada nas proximidades do local de consumo e a restante tem outra proveniência (23%). Segundo um inquérito elaborado por Gonçalves *et al.* (2012), no distrito de Bragança as espécies florestais mais consumidas são o carvalho-português, a oliveira e lenha de mistura.

Segundo o Instituto da Conservação da Natureza e das Florestas (AFN, 2010), no concelho de Bragança, as espécies florestais dominantes são o carvalho (13,892 ha), pinheiro-bravo (11.478 ha), castanheiro (7,587 ha), outras resinosas (4,267 ha), outras folhosas (997 ha), sobreiro (573 ha), azinheira (445 ha) e eucalipto (249 ha).

Principais características físico-químicas da biomassa lenhosa

A composição físico-química de cada espécie florestal é um fator importante para a otimização do processo de combustão, pois tem influência direta e indireta na queima e nas emissões de poluentes atmosféricos (McDonald *et al.*, 2000).

A biomassa lenhosa apresenta na sua composição química elementar carbono (49 – 50%), hidrogénio (6%), oxigénio (44 – 45%), nitrogénio (0,1 – 1 %) e ainda cálcio, potássio, magnésio, cloro, arsénio, cádmio, zinco, mercúrio, chumbo, cromo e cobre, em quantidades muito reduzidas (Rodero *et al.*, 2012). Contudo, a composição química da biomassa lenhosa varia de acordo com as diferentes constituintes da árvore (raízes, caule, ramos e casca), com o tipo de lenho: normal ou de reação (formado pela compressão ou tensão em resultado de forças que atuam no tronco, e.g. ventos fortes) ou com as condições ambientais de crescimento (localização geográfica, clima e tipo de solo). Deste modo, definem-se genericamente, dois grupos de componentes químicos da madeira: os componentes estruturais ou macromoleculares e os componentes não estruturais ou extrativos (Silva, 2010). Os componentes macromoleculares estão presentes em todas as espécies florestais. Constituem a parede celular da biomassa lenhosa e apresentam como principais componentes a celulose, hemiceluloses (polioses) e lenhina. Os componentes extrativos, também conhecidos como sendo as substâncias de massa molecular pequena, encontram-se no lúmen das células e nos espaços vazios existentes na madeira. Estes componentes variam em função das espécies florestais e são responsáveis por propriedades como o cheiro, gosto, cor e durabilidade. Apresentam-se divididos em dois grupos: substâncias orgânicas (material extrativo) e substâncias inorgânicas (Silva, 2010) (Tabela 1).

Tabela 1: Composição química da biomassa lenhosa (Fonte: Silva, 2010)

<i>COMPONENTES MACROMOLECULARES</i>		<i>COMPONENTES EXTRATIVOS</i>	
Celulose	É o principal componente da parede celular e o composto orgânico mais abundante da natureza. A estrutura linear e o tipo de ligações entre as unidades de glucose conferem à molécula de celulose a elevada rigidez e resistência.	Substâncias Orgânicas	Encontram-se acumuladas nas células de parênquima, nos canais secretores, em concentrações muito pequenas na lamela média, nos espaços intercelulares e na parede das células, sem fazer parte dos componentes estruturais da parede celular. O teor de

Polioses	<p>Apresentam como principais constituintes cinco açúcares neutros. Existem diferenças entre as hemiceluloses das resinosas e folhosas ao nível da quantidade com que estão presentes e ao nível de açúcares que as constituem.</p> <p>Na parede celular exercem o papel de matriz de suporte das microfibrilas, exibindo uma distribuição uniforme.</p>	<p>extractivos pode variar entre 0% a 20% da massa seca da madeira (até 8% em climas temperados e até 20% em climas tropicais). Existem vários tipos de extrativos já isolados e identificados como: terpenos, aromáticos, ácidos alifáticos ou outros como o amido, mono e dissacáridos, aminas e etileno.</p>	
Lenhina	<p>A seguir à celulose é o componente macromolecular mais abundante e importante das células vegetais, correspondendo a cerca de 20-30% da parede celular da madeira. Forma-se a partir da oxidação (por perda de um eletrão) e subsequentes reacções de polimerização de três monómeros fenilpropanos.</p>	<p>Substâncias Inorgânicas</p>	<p>Formadas pelos componentes minerais da biomassa lenhosa, apresentando-se na forma de cinzas. Em climas temperados estas substâncias são constituídas por potássio, cálcio e magnésio, em climas tropicais ocorrem maiores quantidade de outros elementos como o silício. O conteúdo de cinzas raramente é inferior a 0,2% ou maior que 1% da massa seca da madeira.</p>

A maioria das características físico-mecânicas como durabilidade, a trabalhabilidade, a cor, a resistência mecânica, a higroscopicidade e o poder energético determinam a qualidade dos diferentes componentes na estrutura da biomassa lenhosa (Silva, 2010). Das principais características físico-químicas da biomassa lenhosa destaca-se a densidade, teor de humidade, poder calorífico, teor de cinzas, teor de carbono e teor de voláteis (Matias, 2010), descritas na Tabela 2.

Tabela 2: Características físico-químicas da biomassa lenhosa (Fonte: Quirino *et al.*, 2005; Matias, 2010)

CARACTERÍSTICAS	DESCRIÇÃO
Poder Calorífico (PC)	Define-se como o calor da reação, isto é a quantidade de energia libertada na forma de calor durante o processo de combustão. Existem duas formas

	<p>de se expressar:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Poder Calorífico Superior – PCS, energia libertada na forma de calor após uma reação de oxidação; ▪ Poder Calorífico Inferior – PCI, energia realmente disponível por unidade de massa de lenha, em forma de calor, após evaporação da água.
Densidade	<p>Direitamente relacionada com a qualidade e utilização da madeira. Madeiras mais densas apresentam maior PC por unidade volumétrica comparativamente a madeiras mais leves.</p>
Teor de humidade	<p>Define-se como sendo a massa de água contida na madeira. Determina o potencial da madeira uma vez que madeira húmida requerer energia extra para secar antes de entrar em combustão e apresenta maior formação/libertação de gases de combustão em forma de vapor de água. Espécies arborizadas apresentam um teor de humidade reduzido.</p>
Teor de Cinzas	<p>Resíduo resultante da combustão. Varia entre 0,5 e 5% consoante a espécie florestal, quantidade queimada e presença de terra ou areia na madeira.</p>
Teor de Carbono	<p>Fração de carbono queimado no estado sólido. Madeira que apresente maior teor de carbono queima de forma mais lenta e reduz a produção de óxidos de ferro.</p>
Teor de Voláteis	<p>Representa a parte de combustível que se volatiliza quando é aquecido a elevadas temperaturas. Após evaporação mistura-se com o O₂ entrando em combustão. Madeira com elevado teor de voláteis queima mais rápido.</p>

2.2. PROCESSO DE COMBUSTÃO

A combustão é um processo físico-químico caracterizado por reações de oxidação onde um combustível (biomassa lenhosa) reage com um agente oxidante (oxigénio proveniente do ar atmosférico), libertando-se grandes quantidades de energia sob a forma de calor. Segundo Arbex *et al.* (2004), o processo de combustão de biomassa decorre em três fases: ignição, combustão com chama e combustão com ausência de chama. Durante a ignição a altas temperaturas formam-se compostos voláteis inflamáveis como substâncias de alcatrão, carbonáceos carbonizados e simultaneamente libertação de vapor de água. A combustão com chama surge após a carbonização, onde o fluxo do combustível volátil desce abaixo do nível mínimo necessário, permitindo de seguida que ocorra a combustão com ausência de chama, libertando-se os produtos voláteis provenientes da decomposição do combustível.

Existem diversos fatores que afetam o processo de combustão, influenciando direta e indiretamente a produção de energia e a formação de poluentes atmosféricos e GEE nomeadamente as características do combustível (biomassa lenhosa), características do

equipamento de combustão e as condições em que se realiza a combustão. Para uma combustão completa de biomassa lenhosa é necessário altas temperaturas e abundância de oxigénio. A abundância de oxigénio permite aumentar a rapidez da reação, convertendo todos os poluentes em CO₂ e H₂O, evitando assim a formação de poluentes nocivos. Numa combustão rápida e com uma chama intensa há igualmente menor libertação de poluentes atmosféricos, contudo na prática, estas condições não se verificam, resultando numa combustão incompleta e efeitos no ambiente e saúde pública.

2.3. SISTEMAS DE COMBUSTÃO DOMÉSTICA

A obtenção de energia térmica a partir da energia química da biomassa no setor residencial é conseguida através da utilização de sistemas de combustão distintos na forma, no processo de queima, na eficiência de combustão, na quantidade e qualidade das emissões atmosféricas, entre outros fatores. Apesar dos progressos a que temos assistido a nível do desenvolvimento de sistemas de queima mais limpa para a saúde do Homem, verifica-se ainda uma grande predominância na utilização de lareiras e fogões antigos com reduzida eficiência e com elevadas emissões de poluentes nocivos para a qualidade do ar interior e exterior. Os equipamentos utilizados para combustão são normalmente Lareiras, Estufas/Salamandras, Caldeiras e Fogões (EPA, 2001; Trozzi, 2009) (Tabela 3).

Tabela 3: Sistemas de combustão doméstica (Fonte: EPA, 2001; Trozzi, 2009; Foster et al., 2011)

EQUIPAMENTO	CARACTERÍSTICAS
Lareira Aberta ou Clássica	Constituída pela câmara de combustão ligada à chaminé. Eficiência de 10%. O calor resultante é o irradiado, o restante é perdido pela chaminé. Consome o ar existente e liberta poluentes atmosféricos para o ar interior.
Lareira Parcialmente Fechada	Equipada com uma porta de vidro que reduz a ingestão de ar, apresentando uma ligeira melhoria na eficiência global.
Lareira Fechada	Equipada com uma porta frontal, inclui um sistema de recuperação de calor que permite a transição do calor por convecção natural. Eficiência superior a 50%.
Estufa Convencional	Equipamento sem combustor catalítico e sem tecnologia de redução de emissões de poluentes atmosféricos.
Estufa Clássica de Eficiência Energética	Equipada por uma câmara de combustão secundária que permite eficiência entre os 55% até 70%. Reduz as emissões de poluentes atmosféricos.
Estufa de	Apresenta várias entradas de ar e ainda um pré-aquecimento do ar de

Combustão Avançada	combustão através das trocas de calor com os gases da combustão. Permite eficiência até 70% e redução das emissões atmosféricas.
Estufa Catalítica	Equipada com catalisador introduzido dentro da chaminé depois da câmara de combustão principal. Diminui a temperatura da chama e a oxidação de poluentes como CO e os COV.
Estufa não Catalítica	Não tem catalisador mas apresenta uma câmara de combustão secundária com existência de um sistema de pré-aquecimento de ar que permite uma combustão mais completa dos gases e partículas emitidos.
Estufa de Pellets	Exclusivamente sustentada por pellets. É constituída por um sistema eletrónico e um ventilador que fornece ar ao processo de combustão. Apresenta elevada eficiência e reduzidas emissões de CO, COVNM e PAH.
Estufa de Alvenaria	Constituída por uma grande câmara de combustão fechada, feita de produtos de alvenaria ou materiais cerâmicos. Durante a queima o calor libertado é armazenado, sendo depois lentamente libertando para a área circundante.
Caldeira Doméstica	Sustentada por lenha, pellets ou briquetes. Produz calor para aquecimento do ar ambiente e/ou águas sanitárias através do sistema de aquecimento central.
Fogão a Lenha	Constituído por ferro ou aço. Utilizado na preparação de alimentos, aquecimento do ar ambiente e de água (inclui depósito). Apresenta eficiência entre 50% a 70%. Em fogões recentes, o uso de ar secundário permite controlar a combustão.

A EPA (Environmental Protection Agency) apresenta um esquema de funcionamento de fogões certificados catalíticos e não catalíticos (Figura 2) normalmente utilizados nos EUA (Foster et al., 2011). Como foi referido na Tabela 3, as estufas catalíticas tem um dispositivo em forma de favo de mel (constituído por cerâmica ou metal) que é introduzido dentro do canal da chaminé a seguir à câmara de combustão, permitindo a oxidação de poluentes após a passagem do fumo e o gás pelo combustor catalítico (Foster et al., 2011). Estas estufas permitem elevadas reduções de CO mesmo quando comparado com estufas tecnologicamente mais avançadas. O tempo de vida do catalisador é de aproximadamente 10000 horas (Gonçalves, 2008). As estufas não catalíticas apresentam um sistema de redução de emissões e permitem um processo de combustão mais eficiente.

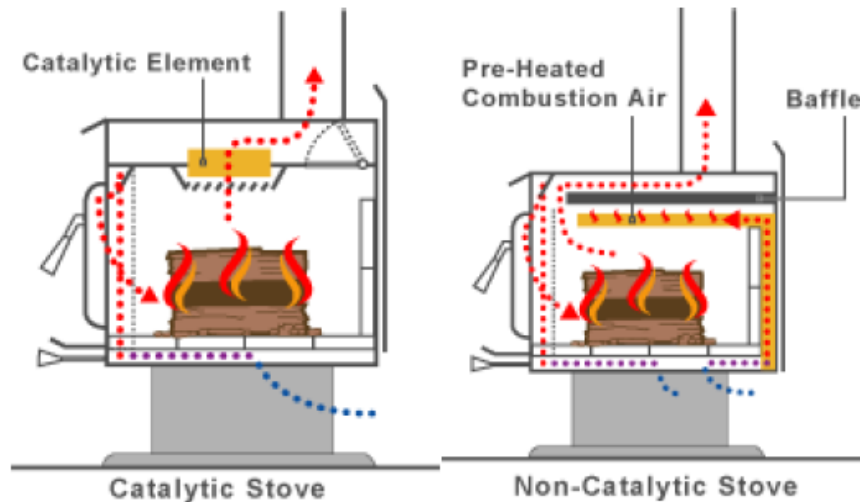


Figura 2: Diferenças entre estufa catalítica e estufa não catalítica (Fonte: Foster et al., 2011)

Os equipamentos de combustão doméstica: lareira, estufa, caldeira e fogão, permitem a recuperação de calor através da implementação de recuperador de ar ou recuperador de água nos queimadores.

O recuperador de ar utiliza um processo de circulação e aquecimento de ar, onde o sistema aproveita grande parte do calor produzido pelo fogo, de modo a que o ar ambiente seja aquecido pelo calor irradiado e o calor do ar aquecido. A recuperação primária acontece através da emissão de ar quente pela saída frontal do recuperador. A recuperação secundária resulta da emissão de ar quente pelas saídas secundárias situadas no cimo do recuperador, conduzido geralmente para outros compartimentos. A recuperação terciária de calor decorre da emissão de ar quente que se acumula entre o exterior do recuperador e o pano de chaminé uma vez que colocando uma entrada de ar frio na base da lareira e uma saída de ar quente no topo, consegue-se a convecção natural através do equipamento. Se todo o interior da chaminé for isolado com material isolante, poder-se-á aproveitar todo o ar quente nele acumulado para aquecer outras divisões da residência (Figura 3).

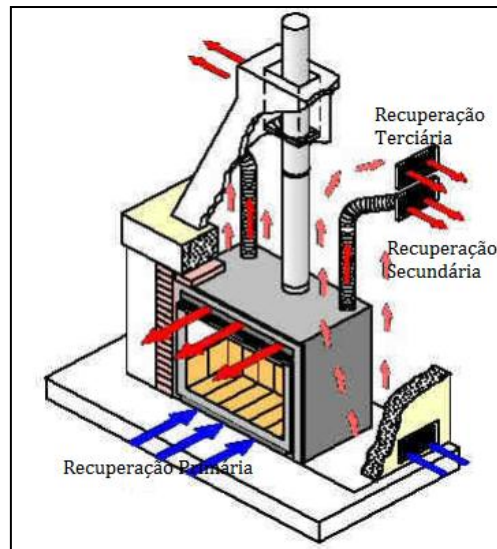


Figura 3: Ilustração de uma lareira com recuperador de calor (Adaptado de Euroventil)

Este tipo de equipamento apresenta uma poupança energética de aproximadamente 70%, permitindo o aquecimento do lar. Possibilita o controlo no decorrer da queima, reduzindo o consumo de lenha. Neste equipamento há um maior rendimento, diminuindo o consumo de lenha e emitindo uma combustão mais limpa, levando ao decréscimo da libertação de poluentes como o CO e partículas. Deixam ainda de existir inconvenientes como a vigilância constante, uma combustão incontrolável, o contato direto com o fogo, a crepitação, cinzas e fumo. Mantem um ar ambiente quente, confortável e limpo.

O recuperador de água, possibilita o aquecimento de toda a habitação através dos radiadores de água, que distribuem o calor por toda a habitação. Permite ainda o aquecimento de águas sanitárias em conjunto com um sistema de energia solar, gasóleo ou gás (Figura 4).

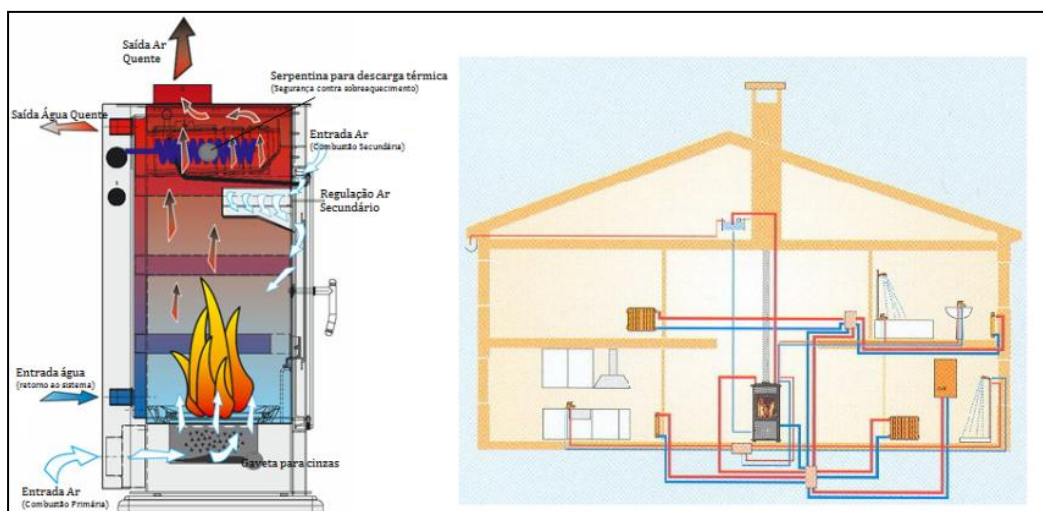


Figura 4: Ilustração de um queimador com recuperador de calor a água (Adaptado de Sítio das Lareiras)

Todavia, este equipamento para o aquecimento dos vários compartimentos da habitação é lento, e tem um custo de instalação elevado. Deste modo, só é aconselhado em residências com elevada taxa de utilização.

Em Portugal, os dados relativos aos sistemas de aquecimento e principal fonte de energia utilizada nas residências não são muito recentes, uma vez que os resultados dos Censos 2011 (INE, 2011a) ainda não estão disponíveis. Nos Censos 2001 (INE, 2001) identificam na cidade de Bragança (freguesias da Sé, Santa Maria e Samil), 180 famílias que não utilizavam qualquer tipo de sistema de aquecimento. Do aquecimento central existente no concelho, 79% é utilizado na cidade de Bragança. É igualmente na cidade que os aparelhos fixos (salamandras, fogões, etc.) e aparelhos móveis (aquecedores elétricos e aquecedores a gás) têm maior relevância, correspondendo a cerca de 89% e 98% respetivamente, do total de equipamentos utilizados no concelho. As lareiras são o equipamento com menos relevância na cidade (34%) (Tabela 4). Em 2001, na cidade de Bragança, existia um total de 2780 famílias, que recorriam à biomassa lenhosa utilizando lareiras e aparelhos fixos (Tabela 4).

Tabela 4: Número famílias utilizadoras de equipamentos para aquecimento do ar ambiente, Censos 2001 (Fonte: INE, 2001)

Equipamentos Aquecimento	Aquecimento Central	Lareira	Aparelhos Fixos	Aparelhos móveis	Sem Aquecimento
Concelho Bragança	1499	7448	306	3465	194
Cidade Bragança	1181	2508	272	3408	180
Taxa de Utilização Cidade Bragança	79%	34%	89%	98%	93%*

*93% das famílias sem aquecimento são residentes na Cidade de Bragança

Informação mais recente, disponibilizada pela DGEG (2011), identifica 24% dos alojamentos em Portugal continental com utilização de lareira aberta para aquecimento do ar, 11% lareira fechada e 27,4% com equipamentos a biomassa para cozinhar (Tabela 5).

Tabela 5: Equipamentos para aquecimento do ar ambiente em Portugal (Fonte: DGEG, 2011)

Tipo de Equipamento	Nº Alojamentos	Nº Equipamentos	Nº Equipamentos por alojamento
Lareira Aberta	740264	766581	1,0
Lareira Recuperador Calor	340498	346204	1,0
Salamandra	222856	226138	1,0
Caldeira Aquecimento Central (Circulação Água)	323520	340904	1,1
Aquecedor eléctrico independente	1884850	2794054	1,5
Aquecedor a GPL independente	218293	237589	0,1

2.4. POLUENTES ATMOSFÉRICOS EMITIDOS DURANTE A COMBUSTÃO RESIDENCIAL

No decorrer do processo de combustão doméstica de biomassa lenhosa são emitidos vários poluentes atmosféricos, conhecidos como uma relevante fonte de poluição, especialmente em bairros residenciais durante os meses mais frios. As emissões resultantes da combustão dependem da composição química do combustível e das condições de combustão (McDonald *et al.*, 2000), incluindo a disponibilidade de ar, temperatura da combustão e do tempo de permanência dos produtos da combustão na zona de reação (Figura 5).

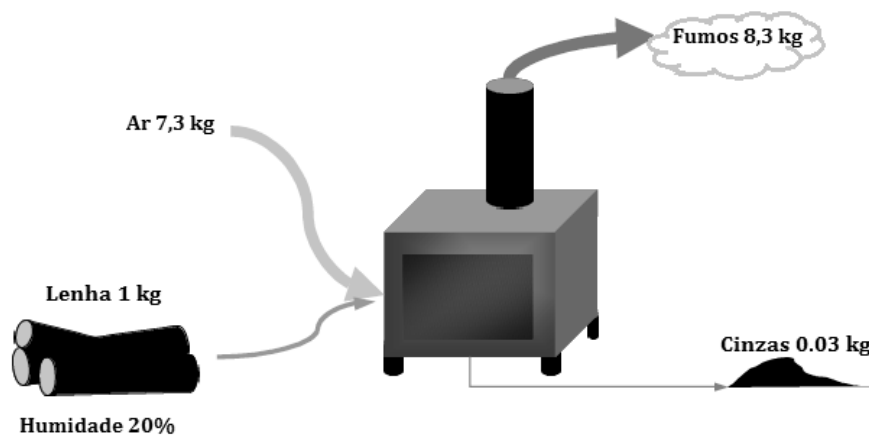


Figura 5: Queima de lenha numa estufa convencional a baixa temperatura (Adaptado de Houck, *s/data*)

Os principais poluentes emitidos durante a combustão são as partículas em suspensão (PM_{10} e $PM_{2.5}$), o monóxido de carbono (CO), os óxidos de enxofre (SOx) e os óxidos de azoto (NOx), contaminantes que contribuem para a má qualidade do ar. As emissões domésticas também contêm compostos cancerígenos, incluindo PAH, benzeno, dioxinas/furanos (Basur, 2002), metais pesados (As, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Se, e Zn) e gases quimicamente ativos como os compostos orgânicos voláteis (COV) e ainda gases de efeito de estufa, nomeadamente CO_2 , N_2O e CH_4 (Tabela 6).

Tabela 6: Descrição dos principais poluentes emitidos durante a combustão doméstica (Fontes: McDonald *et al.*, 2000; Basur *et al.*, 2001; Boman *et al.*, 2003; Tissari, 2008; Trozzi, 2009; Costa, 2009; Gomes, 2010)

<i>POLUENTES</i>	<i>CARACTERÍSTICAS</i>
Monóxido de Carbono	Forma-se durante a combustão incompleta do carbono ou de compostos de carbono. É um gás incolor, sem cheiro, não é ácido e é levemente solúvel em

(CO)	água. O CO é fundamental para a formação de CO ₂ em condições de temperatura apropriadas e abundância de O ₂ .
Compostos Orgânicos Voláteis (COV)	São hidrocarbonetos voláteis. As emissões resultam de baixas temperaturas e combustão com baixo teor de O ₂ . Estes poluentes são facilmente reduzidos através da instalação de equipamentos de queima mais modernos.
Hidrocarbonetos Aromáticos Policíclicos (PAH)	Formam-se devido à combustão incompleta de biomassa lenhosa, em especial em condições dependentes da temperatura combustão (baixa) e O ₂ . A emissão de PAH em combustão doméstica é superior à associada à emissão de veículos automóveis.
Matéria Particulada (PM)	Constituídos por partículas sólidas ou líquidas, dispersas na atmosfera. O teor de cinzas da madeira e a quantidade de carbono do combustível que não é queimado determina a magnitude das emissões de material particulado, mas na sua origem também pode estar a emissão de gases como o SO ₂ , NO _x , NH ₃ e COV resultantes da combustão incompleta. A composição química ou tamanho das partículas varia com as condições de combustão dos diferentes combustíveis em diferentes queimadores. Representadas de um modo simples em duas categorias PM ₁₀ (matéria particulada com diâmetro aerodinâmico inferior a 10 µm) e PM _{2,5} (matéria particulada com diâmetro aerodinâmico inferior a 2,5 µm). Facilmente definidas como as cinzas de carbono, o fumo ou a fuligem. Em áreas residenciais, onde a madeira é o combustível predominante as fontes domésticas são responsáveis por contribuir com cerca de 80% das concentrações de PM no Inverno.
Dioxinas e Furanos (PCDD/F),	Formam-se durante a combustão através da presença de C, Cl, abundância de O ₂ e um catalisador. As emissões podem aumentar através da combustão de madeira tratada ou contaminada e ainda da queima de plásticos. A formação de PCDD/F levam normalmente à emissão de HCB.
Óxido de Azoto (NO_x)	Forma-se através da oxidação de compostos de azoto presentes no combustível e no comburente e de O ₂ presente no comburente, resultando na emissão em forma de NO e posteriormente NO ₂ . Na queima a altas temperaturas há maior formação de NO _x .
Dióxido de Enxofre (SO₂)	Resulta da combustão de compostos de enxofre presentes no combustível (biomassa lenhosa).
Metais Pesados	Emitidos no decorrer da queima devido à combustão incompleta, as emissões dependem das características do queimador e do combustível.
Amónia (NH₃)	Emitida como resultado do processo de combustão incompleta dos combustíveis sólidos que contêm azoto. Ocorre nos casos em que as temperaturas de combustão são muito baixas.

Segundo dados da Agência Europeia do Ambiente (EEA, 2012), o setor doméstico é o maior responsável pela emissão de Monóxido de Carbono (CO), Matéria Particulada (PM_{2,5} e PM₁₀), Hidrocarbonetos Aromáticos Policíclicos (PAH), Cádmio (Cd), Compostos Orgânicos Voláteis não Metânicos (NMCOV) e Dioxinas/Furanos (Figura 6). Neste setor, verificam-se também, embora com valores mais baixos, emissões de Óxido de Azoto (NO_x), Óxido de Enxofre (SO_x), Metais pesados como Mercúrio (Hg) e Chumbo (Pb), Hexaclorobenzeno (HCB) e Bifenilos Policlorados (PCB) (Figura 6).

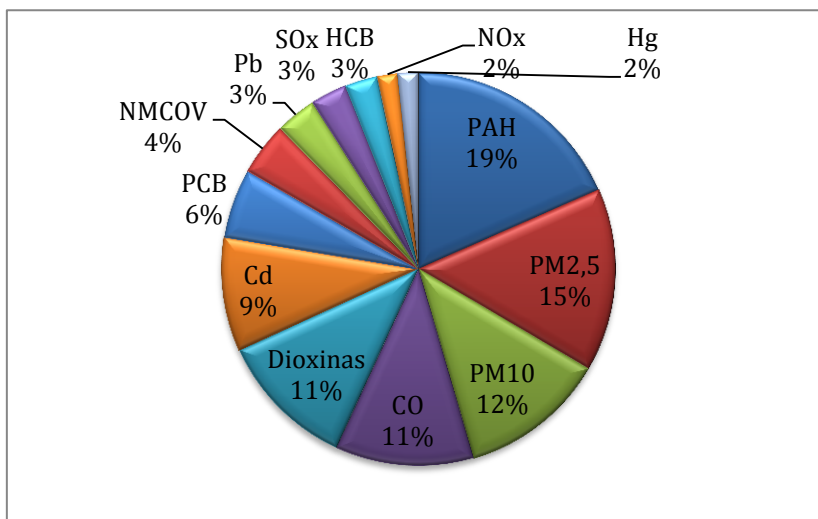


Figura 6: Emissões atmosféricas no setor residencial, União Europeia (Adaptado de EEA, 2012)

Em Portugal, o relatório de emissões atmosféricas da APA (2012) identifica os principais poluentes libertados durante a combustão residencial e respetivas proporções (Figura 7). Verifica-se que o CO é o principal poluente emitido seguindo-se as PST, PCDD/F e os COVNM.

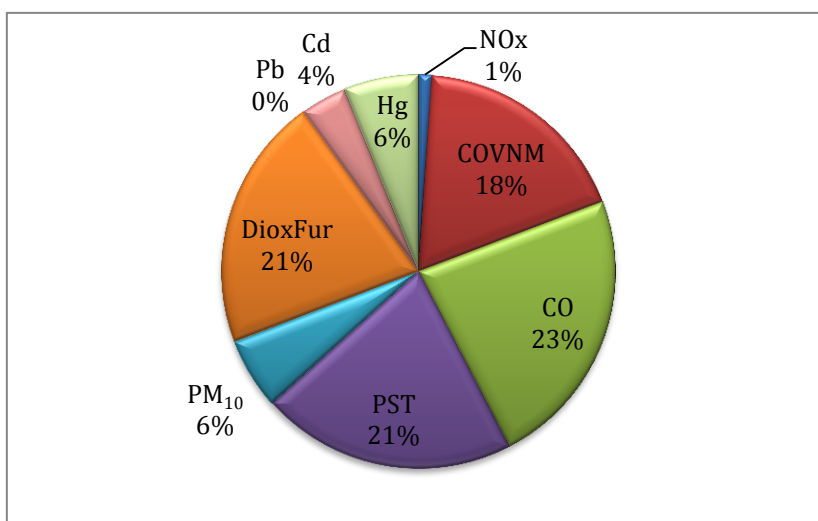


Figura 7: Proporção de poluentes atmosféricos libertados durante a combustão residencial (Adaptado de APA, 2012)

No concelho de Bragança, no setor residencial, verifica-se um aumento de emissões de SO_x entre 2008 e 2009 e uma ligeira redução de emissão de CO₂ (Tabela 7). Relativamente ao CO só há registo de emissões no ano de 2008 (Tabela 7).

Tabela 7: Estimativa das emissões atmosféricas do setor residencial para o concelho de Bragança, 2008 e 2009 (Fonte: APA, 2010 e APA, 2011)

Ano	Poluentes (Ton/km ²)							
	SO _x	NO _x	CO	PM ₁₀	CH ₄	CO ₂	N ₂ O	NMVOC
2008	0,006	0,045	0,778	0,064	0,046	12,471	0,001	0,063
2009	0,012	0,045	S/Registo	0,064	0,046	12,377	0,001	0,063

Em 2009 as emissões no concelho de Bragança corresponderam a aproximadamente 0,04% do total de emissões nacional (Tabela 8).

Tabela 8: Relação das emissões no concelho de Bragança com o total de emissões nacional, 2009 (Fonte: APA, 2011)

Emissões 2009	SO _x	NO _x	NMVOC	PM ₁₀	CH ₄	CO ₂	N ₂ O
Portugal (Ton/Km ²)	32,869	127,231	179,281	181,268	129,724	35033,98	2,378
Bragança	0,0365%	0,0354%	0,0351%	0,0353%	0,0355%	0,0353%	0,0421%

Embora a combustão de biomassa lenhosa seja considerada uma importante fonte de poluentes atmosféricos, há autores que a consideram como a fonte energética que apresenta menores problemas de poluição, quando comparada com utilização de combustíveis fósseis e produção de eletricidade (Fisher et al., 2001). Numa outra perspetiva, existem autores que defendem que o uso de biomassa é favorável ao ambiente, uma vez que a emissão de CO₂ para a atmosfera, proveniente da combustão, é compensada pela absorção da biomassa em crescimento (Boman et al., 2003; Quirino et al., 2005).

Basur *et al.* (2002) comparam emissões dos transportes com emissões provenientes da combustão doméstica, alertando para que em algumas situações as emissões da combustão residencial de biomassa lenhosa chegam a ser superiores às emissões dos veículos automóveis. Em Portugal o setor doméstico é responsável por 21,5% das emissões de Dióxido de Carbono (CO₂), sendo os transportes responsáveis pelos restantes 78,5% (DGEG 2011).

O inventário de poluentes atmosféricos emitidos durante a combustão residencial de biomassa lenhosa tem-se mostrado inconsistente, evidenciando a sua dependência relativamente a muitos fatores. Os mais importantes, conforme já descrito anteriormente,

são a composição da biomassa, o tipo de aparelho (Johanson *et al.*, 2004) e a forma como o aparelho é operado (Boman, 2005). Segundo Germain (2005) a substituição de queimadores antigos por tecnologia moderna e certificada permitiria a diminuição de 30 a 55% de PM_{2,5}, COV, CO e PAH emitidos pela combustão residencial de biomassa lenhosa. No caso dos GEE e PCDD/F as emissões seriam reduzidas até 10% e 6% respetivamente. Porém, a falta de incentivos, tornará a mudança difícil, logo com resultados muito demorados. Germain (2005) apresentou ainda, um cenário de estudo que constituiu na substituição da biomassa lenhosa por outras fontes de energia, tendo obtido reduções das emissões de PAH e de dioxinas de 95% e 20%, respetivamente. No caso dos GEE registou um aumento de emissões de 8%.

Recentemente foi publicada pela Agência Americana de Proteção do Ambiente, (EPA, 2012) uma nova lista de queimadores a lenha certificados. Um queimador a lenha EPA é um equipamento testado, por um laboratório acreditado, para permitir emissões máximas de material particulado de 7,5 gramas por hora para queimadores não catalíticos e 4,1 gramas por hora para queimadores a lenha catalíticos. Estes valores têm como fundamento o cumprimento da lei no estado de Washington, que determina limite de emissões de partículas 4,5 gramas por hora, para queimadores não catalíticos e 2,5 gramas por hora para queimadores catalíticos.

2.5. IMPACTES ASSOCIADOS À QUEIMA DE BIOMASSA LENHOSA

Os impactes associados à queima doméstica de biomassa lenhosa são vários e alguns atingem proporções elevadas, danificando a qualidade do ar interior e exterior. No ambiente os efeitos verificam-se ao nível da diminuição da visibilidade, influenciar o crescimento das plantas e acidificação de solos e água. Há sempre prejuízos ao nível do património construído como a degradação de materiais e pinturas. Na saúde humana os problemas mais notórios são ao nível do sistema respiratório e cardiovascular, sendo sempre mais nocivos para os grupos sociais de risco (mulheres grávidas, fetos, bebés, crianças e idosos).

Diversos trabalhos têm sido desenvolvidos para avaliar os riscos da saúde humana à exposição de poluentes atmosféricos, resultantes dos processos de combustão residencial. Um trabalho de Honicky e Osborne (1991) realizado no Estado de Michigan, EUA, concluiu que crianças que vivem em residências aquecidas por queimadores a lenha, tinham maior probabilidade de apresentar sintomas respiratórios crónicos do que crianças da mesma idade e sexo que vivem em residências aquecidas por outras fontes energéticas. Outras duas investigações independentes, realizadas na Cidade do México (Sandoval *et al.*, 1993) e

Índia, Nepal e Nova Guiné (Larson *et al.*, 1994), concluíram que pessoas que passam muitas horas perto do fogo, no interior e exterior das residências, para cozinhar, apresentaram um aumento de problemas respiratórios como a bronquite crónica e diminuição da função pulmonar. Um relatório da Organização Mundial da Saúde indica que as crianças e as mulheres são as maiores vítimas da utilização de biomassa lenhosa como fonte residencial, nos países em desenvolvimento, devido à poluição do ar interior (WHO, 2006). O fumo proveniente da combustão de biomassa encontra-se entre a principal causa de morte, nestes países, estimando-se que seja responsável pela morte de 1,3 milhões de pessoas anualmente (WHO, 2006).

No relatório relativo ao inventário de emissão na União Europeia entre 1990-2010 (EEA, 2012) é apresentada a relação entre os vários poluentes do ar e os efeitos na saúde humana e o meio ambiente (Figura 8).

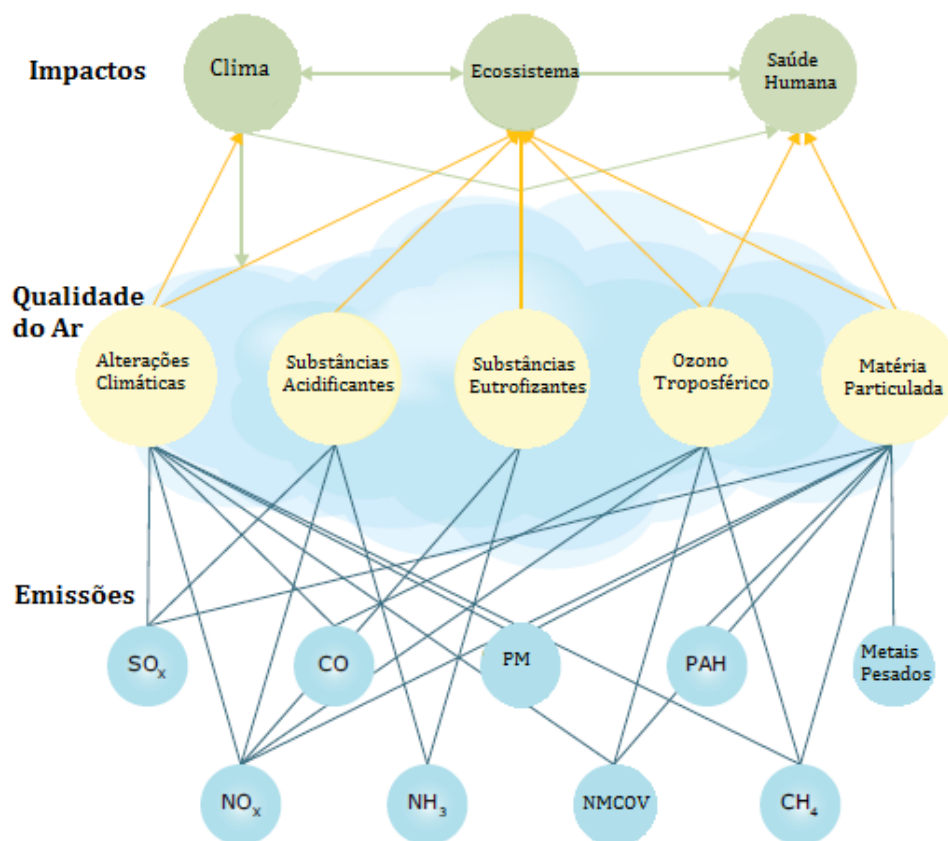


Figura 8: Relação entre os poluentes atmosféricos e os efeitos na saúde humana e meio ambiente (Adaptado de EEA, 2012)

Os poluentes apresentam características diferentes desencadeando diversas reações no ambiente e na saúde humana dependendo da composição química de cada um. Deste modo, é feita uma descrição dos efeitos por tipo de poluente (Tabela 9).

Tabela 9: Descrição dos efeitos na saúde humana e no meio ambiente dos vários poluentes (Fonte: Basur, 2002; Arbex et al., 2004; Gomes, 2010; EEA, 2012)

<i>POLUENTES</i>	<i>EFEITOS NA SAÚDE HUMANA E MEIO AMBIENTE</i>
Monóxido de Carbono (CO)	Gás incolor e inodoro que em concentrações elevadas pode causar a morte (envenenamento), através da ligação à hemoglobina no sangue, reduzindo a capacidade do sangue para transportar oxigénio. Pessoas com doenças cardíacas, respiratórias e anemia correm maior risco, assim como os grupos de risco. O CO pode reagir com outros poluentes e ter um contributo para a produção de ozono troposférico.
Compostos Orgânicos Voláteis (COV)	Ao serem inalados concentram-se no fígado, medula óssea e placenta, e provocam efeitos prejudiciais ao organismo como náuseas, leucemia, cancro do pulmão e da pele. Podem ainda afetar o material genético.
Hidrocarbonetos Aromáticos Policíclicos (PAH)	São um agente causador de cancro nos seres humanos. É um problema predominante na Europa central e oriental, onde a queima de madeira e de carvão é comum.
Matéria Particulada (PM)	Estudos indicam que 98% da PM emitida se encontra na categoria de respirável. Encontra-se associada ao aumento da mortalidade por doenças respiratórias, cardiovasculares e cancro; risco de partos prematuros e mortalidade infantil; risco de pneumonia; aumento do atendimento de emergência, hospitalizações e cirurgias; crises de asma, bronquite, pneumonia e doenças pulmonares crónicas. No ambiente, as partículas podem contribuir para uma diminuição da visibilidade e podem ainda afetar o balanço térmico da atmosfera, uma vez que exercem influência na quantidade de radiação solar absorvida e refletida para o espaço. Podem ser responsáveis pela diminuição da troca gasosa em espécies vegetais, através do bloqueamento de estomas. Danificam o património construído, sobretudo tintas e as pinturas.
Dioxinas e Furanos (PCDD/F)	Extremamente tóxicos e cancerígenos. Associados a problemas de imunossupressão, doenças hepáticas, indução enzimática das enzimas hepáticas, possível redução da contagem de espermatozóides viáveis, derrames cerebrais sanguíneos em recém-nascidos e alterações na coagulação do sangue. Uma vez no corpo humano, têm tendência a acumularem-se em zonas de elevado teor em gordura como tecido adiposo e leite materno, facilitando a transferência de dioxinas da mãe para o bebé. São poluentes persistentes no meio e facilmente transportados pelo vento até lugares afastados do ponto de origem.
Óxido de Azoto (NOx)	Provoca infeções pulmonares (asma ou tosse convulsa), diminuição de defesas no sistema imunitário e problemas respiratórios. Influenciam o crescimento das plantas e são responsáveis pela degradação e danos em edifícios e

	monumentos de pedra bem como pela eutrofização do solo e da água. Contribuem para a formação das chuvas ácidas e do smog.
Óxido de Enxofre (SO_x)	Gás tóxico e irritante, causador de alterações e irritações nas mucosas do nariz, pulmões, olhos e boca, provocando problemas respiratórios. É um poluente acidificante, a sua interação com a humidade do ar origina ácido sulfúrico, que está na origem das chuvas ácidas que têm como consequência a acidificação dos meios naturais (ex. lagos) e a corrosão de materiais metálicos e calcários. Contribui para a formação do smog.
Metais Pesados	Podem residir na atmosfera, serem fixados ou depositados sobre as superfícies terrestres/água e subsequentemente acumularem-se em solos ou sedimentos. São persistentes no ambiente e podem acumular-se nas cadeias alimentares.

Segundo a Organização Mundial de Saúde (OMS), os já citados poluentes, emitidos durante a combustão de biomassa, afetam a saúde humana, provocando graves danos a nível respiratório, sendo responsáveis pelo aumento de doenças pulmonares e doenças cardiovasculares. Importa salientar que a poluição do ar interior das habitações é responsável por 2,7% das doenças do mundo (WHO, 2006). A OMS propõe valores limites para as concentrações de partículas de 20 $\mu\text{g.m}^{-3}$ para as PM₁₀ e 10 $\mu\text{g.m}^{-3}$ para as PM_{2.5}, tendo como base o nível mais baixo de mortalidade, associado a problemas cardiopulmonares e cancro do pulmão, devido a uma exposição de longo prazo (Gonçalves, 2008).

2.6. MEDIDAS POLÍTICAS AMBIENTAIS

A poluição atmosférica apresenta-se atualmente como uma problemática universal, uma vez que não respeita fronteiras é uma preocupação da comunidade científica e líderes mundiais. O controlo e a diminuição dos efeitos nocivos exigem a colaboração e participação de todos, a fim de estabelecer parâmetros e aplicar um conjunto de normas legais universais, que determinem limites de concentração dos poluentes atmosféricos, estabeleçam máximos de emissão, implementem tecnologias menos poluentes e estruturas de prevenção à poluição, salvaguardando a interação do Homem com o meio ambiente.

A União Europeia implementou políticas ambientais e diretivas como instrumentos de base para a correta gestão da qualidade do ar. A UE apresenta uma sólida legislação, que estabelece para o mesmo nível de exigência, normas e práticas ambientais em todos os estados membros. Recentemente toda a legislação foi revista, tendo sido publicada a Diretiva de 2008/50/CE, de 21 de Maio, referente à qualidade do ar ambiente e a um ar mais limpo na Europa. Determina-se como principal objetivo desta diretiva a redução da

poluição na Europa para níveis que minimizem os seus efeitos prejudiciais na saúde humana. A presente diretiva junta num único ato legislativo as disposições legais da Diretiva 96/62/CE, de 27 de Setembro, as três primeiras diretivas filhas (Diretivas 1999/30/CE de 22 de Abril; 2000/69/CE de 16 de Novembro e 2002/3/CE de 12 Fevereiro) e a Decisão 97/101/CE do Conselho, de 27 de Janeiro de 1997. A UE implementou ainda, o Sexto Programa de Ação em Matéria de Ambiente (6ºPAA) que conferiu um novo propósito e um novo rumo à política ambiental. Conduz, entre várias temáticas, estratégias no combate à poluição atmosférica e uma melhoria da qualidade do ar. Atualmente, como meio de dar continuidade ao 6º PAA, está a ser preparado o Sétimo Programa de Ação em Matéria de Ambiente, que estabelece política e prioridades ambientais até 2020.

Em Portugal, o quadro legislativo em vigor relativo à avaliação e gestão da qualidade do ar é constituído pelo Decreto-Lei n.º 102/2010, de 23 de Setembro, transpondo para a ordem jurídica interna a Diretiva n.º 2008/50/CE do Parlamento Europeu e do Conselho, de 21 de Maio e ainda a Diretiva 2004/107/CE, de 15 de Dezembro, relativa ao arsénio, ao cádmio, ao mercúrio, ao níquel e aos hidrocarbonetos aromáticos policíclicos no ar ambiente. O Decreto-Lei n.º 102/2010, de 23 de Setembro estabelece medidas destinadas a definir e fixar objetivos relativos à qualidade do ar ambiente, tendo em conta as normas, as orientações e os programas da Organização Mundial de Saúde. Pretende ainda preservar a qualidade do ar ambiente quando ela é boa e melhorá-la nos outros casos, de modo a evitar, prevenir ou reduzir os efeitos nocivos para a saúde humana e para o ambiente. A nível nacional têm vindo a ser desenvolvidas outras ações que integram as preocupações ambientais nomeadamente Estratégia Nacional de Energia 2020 - ENE 2020; Programa Nacional para as Alterações Climáticas - PNAC 2020; Estratégia Nacional de Adaptação às Alterações Climáticas - ENAAC; Plano de Ação para a Eficiência Energética - PNAEE 2015; Programa de Eficiência Energética na Função Pública - ECO.AP; Plano Nacional de Atribuição de Licenças de Emissão - PNALE II; Fundo Português de Carbono; Roteiro Nacional de Baixo Carbono - RNCB.

Devido à crescente preocupação com as alterações climáticas e com as consequências ambientais, sociais e económicas Portugal assumiu o objetivo de limitar o aumento das suas emissões GEE em pelo menos 20% até 2020. Neste âmbito várias foram as autarquias nacionais a aderir ao Pacto do Autarcas, uma iniciativa lançada pela Comissão Europeia que se trata de um seguimento das medidas do Pacote Clima e Energia da União Europeia em 2008, através do qual se pretende que os municípios de forma voluntária reduzam as suas emissões de CO₂ incentivando a utilização de bioenergia como uma potencial fonte de

energia uma vez que é considerada limpa e renovável, juntamente com a energia geotérmica, energia das mares, energia solar e eólica. Bragança foi um dos Municípios que aderiu comprometendo-se a apoiar e cumprir diversas metas no setor residencial nomeadamente a certificação energética das residências; incentivos aos sistemas solar térmico e solar fotovoltaico; substituição de lâmpadas incandescentes por fluorescentes compactas; substituição para equipamentos de classe A ou superior; conversão gradual da utilização de derivados de petróleo (ex.: butano e propano) para gás natural; substituição das caixilharias, isolamento de coberturas e caixas de estore; implementar e operacionalizar sistemas tanto de registo de monitorização como de gestão dos consumos de energia nos edifícios residenciais. Com estas medidas o município espera uma poupança de energia de 10335 MWh e reduções de emissão de CO₂ de 5905 toneladas, atingindo uma percentagem de redução apenas neste setor de 5,45% (Green Value, 2012).

Em suma, as alterações no ambiente têm sido constantes, bem como as mudanças climáticas. A legislação europeia e nacional está em constante revisão, de modo a incluir os mais recentes estudos e as mais recentes alterações ao sistema, a fim de que seja possível regularizar a situação e melhorar a qualidade de vida dos seus habitantes.

3. METODOLOGIA

A metodologia adotada envolveu o levantamento de informação relativa a consumos de energia, sistemas de queima de biomassa, quantidades de biomassa consumida, tipos de biomassa utilizada, entre outras, através da realização de inquéritos a uma amostra representativa dos fogos da cidade de Bragança. Após este levantamento inicial, procedeu-se ao tratamento estatístico de todos os dados recolhidos, de modo obter uma estimativa do consumo de biomassa lenhosa no setor residencial, avaliar o seu contributo em termos energéticos e ainda, quantificar as emissões de gases de efeito de estufa e de poluentes atmosféricos resultantes do processo em estudo. Numa última fase, procurou-se avaliar as implicações de alternativas nas emissões atmosféricas.

3.1 *ÁREA DE ESTUDO*

O Distrito de Bragança situa-se na Península Ibérica, no Nordeste Transmontano, e é limitado a norte e a este por Espanha (províncias de Ourense e Zamora) (Figura 9). O Concelho de Bragança é um dos treze municípios que compõem o distrito sendo constituído por 49 freguesias.



Figura 9: Área de Estudo, Península Ibérica

A cidade de Bragança é a capital do distrito, constituída pela Freguesia da Sé, com uma área de 10,062 Km², 18607 habitantes e 6914 famílias, Freguesia de Santa Maria com 13999 Km², 3828 habitantes e 1512 famílias e Freguesia de Samil, embora se encontre a cerca de 3 km do centro da cidade, é atualmente uma área urbanizada da cidade, com 9,247 Km², 1203 habitantes e 443 famílias, segundo os dados provisórios dos Censos 2011 (INE, 2011a) (Figura 10). A seleção das três freguesias como áreas de estudo fundamenta-se pelo facto de fazerem parte do perímetro urbano.

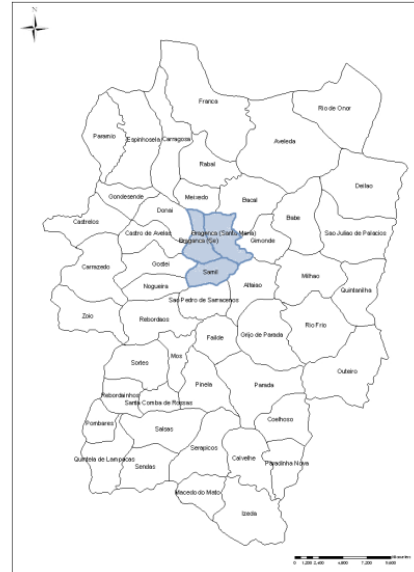


Figura 10: Cidade de Bragança

O clima é temperado, apresentando influências continentais e atlânticas. O carácter continental é o característico da chamada Terra Fria Transmontana, apresenta condições climáticas rigorosas, representado por longos e frios Invernos e Verões curtos e quentes, com grandes amplitudes térmicas anuais e menor frequência e intensidade de precipitação. O carácter atlântico é devido à distância da costa e à elevação da cidade (670 metros de altitude). Em média regista-se uma temperatura anual de 12,2°C e é das cidades Portuguesas em que mais neva. Dados climatológicos referentes aos anos entre 1971 e 2000 permitiam registar os parâmetros meteorológicos de Bragança (Tabela 10).

Tabela 10: Ficha Climatológica 1971-2000: Bragança (Adaptado de IM, s/data)

Meses	Média da Temperatura Diária (°C)			Insolação (horas)	Média da Precipitação Total (mm)	Velocidade e Média do Vento (km/h)	Nº médio de dias				
	Máx	Min	Méd				Trovoada	Granizo	Neve	Nevoeiro	Geada
Janeiro	8,5	0,3	4,4	111,5	95,8	9,1	0,1	0,1	1,9	10,4	15,7
Fevereiro	11,1	1,3	6,2	143,4	75	10,6	0,2	0,2	1,5	4,7	12,5
Março	14,3	2,9	8,6	203,2	44,3	11,1	0,7	0,1	0,9	1,7	10,2
Abril	15,6	4,7	10,2	208,6	62,1	11,5	2,5	0,3	0,5	0,9	4,3
Mai	19,1	7,8	13,4	243,6	70	10,9	4,4	0,2	0	1,4	1,2
Junho	24,3	11,4	17,9	296,3	38,7	10,1	4,3	0,2	0	1,1	0
Julho	28,5	14	21,3	342,6	19,6	10	3,7	0	0	0,3	0
Agosto	28,5	13,7	21,1	327,3	18,4	9,7	2,8	0,1	0	0,2	0
Setembro	24,8	11,5	18,1	238	45	9,1	2,3	0	0	1,2	0,2
Outubro	18,1	7,5	12,8	175,7	84,8	8,8	1	0	0	4,3	2
Novembro	12,8	3,6	8,2	132,7	86	8,7	0,3	0	0,2	8,3	8,7
Dezembro	9,4	1,7	5,5	97,1	118,6	9	0,1	0	1,1	9,8	12,7
Anual	17,9	6,7	12,3	2520	758,3	9,9	22,4	1,2	6,1	44,3	67,5

Na cidade de Bragança, segundo dados meteorológicos disponibilizados pela Escola Superior Agrária, entre Novembro de 2011 e Setembro de 2012 registaram-se os parâmetros meteorológicos descritos na Tabela 11.

Tabela 11: Dados meteorológicos da cidade de Bragança entre Novembro de 2011 a Outubro de 2012 (Fonte: ESA, 2012)

Temperatura Máxima	35.7°C
Temperatura Mínima	-9.2°C
Humidade Máxima	100%
Humidade Mínima	9%
Ponto de Orvalho Máximo	18.9°C
Ponto de Orvalho Mínimo	-13.9°C
Velocidade do Vento Máxima	48.3 km/hr
Pressão Barométrica Máxima	1046.2 mb
Pressão Barométrica Mínima	1003.8 mb
Precipitação Total	204.7 mm
Taxa de Pluviosidade Máxima	111.8 mm/hr
Arrefecimento do Vento Mínimo	-10.0°C
Sensação Térmica Máxima	35.0°C
Máximo UV	10.9 index
Radiação Solar Máxima	1343 W/m ²

O espaço urbano de Bragança é composto por uma grande variedade de estruturas edificadas, espaços pavimentados e espaços livres nomeadamente os espaços verdes, residenciais, agrícolas e espaços destinados ao tráfego (Carvalho *et al.*, 2008). O perímetro urbano de Bragança é atravessado pelo rio Fervença, um corredor ribeirinho que divide a cidade em três zonas (Figura 11).



Figura 11: Perímetro urbano da cidade de Bragança (Fonte: Carvalho *et al.*, 2008)

No centro histórico da cidade de Bragança, segundo informação disponibilizada pela Câmara Municipal de Bragança, em 2007/2008 cerca de 80% dos edifícios encontram-se em boas condições de conservação, apenas 5% está considerado como um edifício em más condições. A construção dos edifícios na cidade é essencialmente de alvenaria (pedra, tijolo, madeira e betão), aproximadamente 40% dos edifícios apresentam bom isolamento, 20% média-bom e 40% isolamento razoável. Estima-se que no centro histórico da cidade apenas 10% dos edifícios não apresentam problemas de humidade no alojamento.

3.2. CARATERIZAÇÃO DA AMOSTRA

A aplicação do inquérito foi realizada exclusivamente a alojamentos familiares clássicos (apartamentos e moradias), não tendo sido dirigido a hotéis e similares, apoios sociais, escolas, instalações militares, prisionais, religiosas, de saúde ou locais de trabalho. No decorrer da realização dos inquéritos, incidiu-se nos bairros e loteamentos mais populosos das três freguesias.

Para apurar a significância estatística dos resultados do inquérito, recorreu-se a métodos estatísticos de amostragem, cujo objetivo é conhecer o tamanho da amostra recomendado com base na população em estudo e a margem de erro que lhe está associada. O erro da amostra é medido pelo desvio padrão, que apresenta níveis de confiança de 90%, 95% e 99%. O nível de confiança do tamanho da amostra e intervalo de confiança para amostras aleatórias apresentado por Cohen *et al.* (2010) (Anexo I) foi feito com base no intervalo de população de 7500 e 10000. Entende-se por nível de confiança como a probabilidade de o valor estar dentro do intervalo de confiança, considerando toda a população em estudo. O intervalo de confiança é o intervalo onde o verdadeiro valor da amostra se encontra (Broderick *et al.*, 2003). A margem de erro obtida para o presente estudo foi de 6,8%, para um nível de confiança de 95%. A dimensão global da amostra foi repartida pelas três freguesias considerando as famílias registadas nos dados provisórios dos Censos 2011 (Tabela 12). A presente amostra é constituída por 201 respostas válidas representando as 8869 famílias da cidade.

Tabela 12: Distribuição geográfica dos inquéritos por freguesia

Freguesias	N ^o Famílias		Proporção N ^o Famílias Inquiridas
	Inquiridas	Cidade (Censos 2011)	
Samil	6	443	1,4%
Santa Maria	53	1512	3,5%
Sé	142	6914	2,1%
Total	201	8869	2,3%

3.3 INQUÉRITO

O conhecimento das práticas de combustão residencial de biomassa lenhosa é essencial para melhorar o inventário de emissões atmosféricas. Neste sentido vários são os trabalhos desenvolvidos que tem em comum uma metodologia semelhante que passa por a realização de inquérito (e-mail, telefone e presencial) numa determinada área residencial, com a finalidade de conhecer os hábitos e consumos energéticos reais da população local, para determinar as emissões atmosféricas e os impactos da combustão residencial de biomassa lenhosa na qualidade do ar, tais como o de Broderick *et al.*, (2003), NIR, (2011), Tonnoka *et al.*, (2006) e Caserini *et al.*, (2007) ou Gonçalves (2008) e Gonçalves *et al.*, (2011) a nível nacional.

O inquérito realizado teve como principal objetivo conhecer o padrão de consumo energético no setor doméstico da cidade de Bragança. Tratou-se de um inquérito presencial, em que as questões foram colocadas oralmente ao inquirido. As questões foram distribuídas por cinco grupos: I. Dados pessoais do inquirido; II. Características da habitação onde reside; III. Biomassa lenhosa e sistemas de produção de calor; IV. Outras fontes de energia utilizadas na habitação; V. Questões adicionais (Anexo II).

No que se refere aos dados pessoais dos inquiridos colocaram-se questões referentes às habilitações académicas e idade, nas características da habitação questionou-se sobre a energia utilizada para aquecimento do ar ambiente e consumo anual (biomassa lenhosa; gás natural; gás garrafa; eletricidade; gasóleo). No que se refere à combustão de biomassa lenhosa inquiriu-se sobre o equipamento utilizado (lareira aberta; lareira com recuperador de ar ou água; estufa/salamandra; caldeira), a biomassa lenhosa utilizada (lenha; pellets; briquetes) e em caso de utilização de lenha, qual a espécie florestal mais consumida e respetiva taxa de utilização diária, semanal e mensal do aquecimento. O inquérito é ainda composto por questões adicionais, que se consideram importantes para a obtenção de resultados mais precisos tais como o interesse do inquirido sobre o tema, se há residentes com doenças respiratórias ou fumadores e ainda se o inquirido considera a biomassa lenhosa como uma fonte acertada de energia doméstica.

O inquérito foi realizado entre o mês de Março e Abril de 2012. Aproximadamente 95% dos inquéritos foram realizados porta-a-porta, no período das 17h30 às 19h30, em dias úteis e das 14h30 às 19h30 nos fins-de-semana. Os restantes inquéritos foram realizados a agregados familiares cujos membros são funcionários do Instituto Politécnico de Bragança.

3.4 METODOLOGIA DE CÁLCULO DE CONSUMOS E ENERGIA

A estimativa do consumo energético, das várias fontes de energia em estudo, para a cidade de Bragança foi realizada recorrendo à equação matemática do *algoritmo do produto cruzado* ou tipicamente conhecida como a *regra de três simples*. Este é um processo mecânico eficiente e caracteriza-se por chegar a um valor final através de três valores, relacionados em pares com mesma grandeza e unidade. Deste modo, partindo dos valores da amostra foi possível chegar aos valores reais da cidade.

Para estimar os consumos energéticos na cidade, os inquiridos identificaram os valores anuais brutos de consumo, tendo como ano de referência de Maio de 2011 a Abril de 2012. No caso da eletricidade (kWh/ano) e do gás natural (kWh/ano) as dificuldades foram maiores, uma vez que uma grande parte da informação foi fornecida em termos de custos mensais, tendo sido necessário a subsequente conversão dos custos de eletricidade e de gás natural em kWh.

Determinou-se como unidade energética o Joule para ser possível fazer a análise dos consumos energéticos na cidade. Utilizou-se o seguinte sistema de conversão de unidades com base na informação disponibilizada pela DGEG (2011):

- GWh (eletricidade e gás natural) 3600 GJ
- Ton (gás garrafa) 46 GJ
- Ton (gasóleo) 42,6 GJ
- Ton (biomassa lenhosa) 14,65 GJ

3.5. METODOLOGIA DE CÁLCULO DAS EMISSÕES ATMOSFÉRICAS

A estimativa das emissões de partículas, poluentes gasosos e GEE foi determinada em função dos equipamentos de combustão (lareira aberta, lareira fechada, estufa e caldeira), tipo de biomassa lenhosa e quantidade de biomassa queimada por ano e por habitação. Procedeu-se ao cálculo efetivo das emissões poluentes atmosféricas e GEE através da aplicação da equação 1.

$$\text{Emissões} = \text{Consumo de Lenha} \times \text{Fator de Emissão} \times \text{Poder Calorífico} \quad (\text{Eq.1})$$

(kg/ano)
(kg/ano)
(kg/kJ)
(kJ/kg)

A metodologia de cálculo de emissões apresenta elevadas incertezas uma vez que não existem valores de fatores de emissão e poder calorífico únicos, em algumas situações há

uma grande variabilidade de valores, em outros, ausência. Deste modo, realizou-se uma pesquisa bibliográfica que permitiu estabelecer os valores utilizados para ambos os parâmetros.

A seleção dos valores de PC para o cálculo de emissões levou à realização de uma pesquisa bibliográfica onde foram estudados os valores de PCI e PCS para as espécies florestais em estudo, disponível no Anexo III. Optou-se pelos valores de PCI apresentados na Tabela 13, uma vez que os valores de PCI representam a energia realmente disponível por unidade de massa de lenha, em forma de calor, após a evaporação da água.

Tabela 13: Valores de PCI utilizados no cálculo de emissões (kJ/kg)

Biomassa Lenhosa	PCI (kJ/kg)
Carvalho	17541
Castanheiro	14615
Pinheiro	15000
Freixo	17969
Oliveira	17956
Outras espécies florestais	12527
Pellets	17620
Briquetes	19860

Quando os dados de emissão de poluentes atmosféricos e GEE não estão disponíveis, nem são conhecidos, os fatores de emissão (FE) podem ser úteis em metodologias de estimação de emissões. FE são estimativas da quantidade de uma substância química particular, emitida quando uma quantidade de combustível é queimada num determinado queimador. Nos países mediterrânicos, os dados sobre os fatores de emissão referentes à combustão residencial de biomassa são quase inexistentes (Gonçalves, 2011). Bibliografia e literatura internacional, fornecem, no entanto, valores de fatores de emissão para alguns poluentes, embora em muitos casos os valores sejam também escassos. Deste modo, há grandes incertezas associadas aos FE para os vários poluentes por tipo de queimador utilizado no decorrer da combustão residencial de biomassa lenhosa. Para o presente estudo foi feita uma seleção dos FE em função do tipo de queimador e poluente emitido, de vários autores e estudos, apresentada no Anexo IV. No decorrer do cálculo das emissões adotou-se duas metodologias dependendo dos poluentes em estudo. A Tabela 14 apresenta os poluentes onde o cálculo de emissões foi feito utilizando o FE mais frequentes na literatura.

Tabela 14: Fatores de emissão utilizados no cálculo de emissões atmosféricas: valores médios (kg/kJ)

Fatores de Emissão (valores médios) (kg/kJ)	Lareira Aberta	Lareira Fechada	Estufa/ Salamandra	Caldeira
SO_x	1E-08	1E-08	1E-08	1E-08
NH₃	1E-08	1E-08	5E-09	3,8E-09
Pb	4E-11	4E-11	4E-11	4E-11
Cd	2E-12	2E-12	1E-12	2E-12
Hg	9,4E-12	9,4E-12	4E-13	6E-13
As	5E-13	5E-13	5E-13	2E-12
Cr	1E-12	1E-12	2E-12	5E-12
Cu	8E-12	8E-12	8E-12	1E-11
Ni	2E-12	2E-12	2E-12	1E-11
Se	5E-13	5E-13	5E-13	5E-13
Zn	1E-10	1E-10	1E-10	2E-10
PCB	6E-14	6E-14	6E-14	6E-14
Benze(b)pireno	1,8E-10	1,8E-10	2,5E-10	1,3E-10
Benze(b)fluoranteno	1,8E-10	1,8E-10	2,4E-10	2E-10
Benze(k)fluoranteno	1E-10	1E-10	1,5E-10	1E-10
Indeno (1,2,3-cd)pireno	1,4E-10	1,4E-10	1,8E-10	8E-11
HCB	6E-15	6E-15	6E-15	6E-15
CO₂	9,50E-05	9,50E-05	9,50E-05	9,50E-05
CH₄	3,00E-07	3,00E-07	3,00E-07	3,00E-07
N₂O	4,30E-09	4,30E-09	4,30E-09	4,30E-09
SO₂	1,25E-08	1,25E-08	1,25E-08	1,25E-08

No cálculo das emissões de CO₂^e são incluídas as emissões CH₄ e N₂O uma vez que as emissões de CO₂ provenientes da queima de carbono sequestrado biologicamente são geralmente apresentados separadamente (ISO 14064-1).

No caso do NO_x, CO, COV, PM₁₀, PM_{2,5} e PAH dada a grande variabilidade de FE as emissões dos poluentes atmosféricos foram calculadas tendo por base os valores mais baixos (VB), os valores mais elevados (VE), os valores médios (VM) e os valores mais frequentemente (VF) usados em contexto nacional, disponíveis na literatura (Tabela 15).

Tabela 15: Fatores de emissão utilizados no cálculo de emissões de NO_x, CO, COV, PM₁₀, PM_{2,5} e PAH (V Baixo; V Elevado; V Médio; V Frequente)

Fatores Emissão (kg/kJ)	LAREIRA ABERTA				LAREIRA FECHADA				ESTUFA/SALAMANDRA				CALDEIRA			
	VB	VE	VM	VF	VB	VE	VM	VF	VB	VE	VM	VF	VB	VE	VM	VF
NO_x	5,00E-08	8,75E-08	6,88E-08	5,00E-08	5,00E-08	8,75E-08	6,88E-08	5,00E-08	5,00E-08	5,00E-08	5,00E-08	5,00E-08	5,00E-08	1,20E-07	8,50E-08	5,00E-08
CO	4,00E-06	4,86E-06	4,29E-06	4,00E-06	3,50E-06	6,16E-06	4,83E-06	3,50E-06	6,00E-06	6,00E-06	6,00E-06	6,00E-06	4,00E-06	5,00E-06	4,50E-06	5,00E-06
PM₁₀	1,50E-07	1,16E-06	5,90E-07	2,88E-07	1,92E-07	8,13E-07	5,02E-07	1,92E-07	6,08E-07	8,10E-07	7,09E-07	8,10E-07	3,30E-08	4,75E-07	2,54E-07	3,30E-08
PM_{2,5}	2,79E-07	1,16E-06	6,53E-07	2,79E-07	1,86E-07	8,06E-07	4,96E-07	1,86E-07	5,76E-07	8,10E-07	6,93E-07	8,10E-07	3,20E-08	4,75E-07	2,54E-07	3,20E-08
COV	4,06E-07	8,00E-07	5,49E-07	8,00E-07	6,70E-07	1,31E-06	9,91E-07	6,70E-07	1,20E-06	1,20E-06	1,20E-06	1,20E-06	4,00E-07	4,00E-07	4,00E-07	4,00E-07
PAH	1,39E-11	1,01E-08	3,40E-09	1,01E-08	3,50E-12	3,50E-12	3,50E-12	3,50E-09	8,20E-10	8,20E-10	8,20E-10	8,20E-10	5,10E-10	5,10E-10	5,10E-10	5,10E-10

4. RESULTADOS

4.1. CARACTERÍSTICAS GERAIS DA HABITAÇÃO

No decorrer do desenvolvimento do estudo, verificou-se que na cidade de Bragança cerca 60% das residências são de paredes duplas com isolamento. Os envidraçados exteriores são maioritariamente duplos com corte térmico (Tabela 16).

Tabela 16: Características da habitação, envidraçados exteriores

Envidraçados Exteriores	Simple	Duplos c/ corte térmico	Duplos s/corte térmico
Moradias	27%	65%	8%
Apartamento	23%	53%	24%

Relativamente às fachadas dos alojamentos verifica-se uma média de duas em apartamentos e três em moradias. Em termos de orientação da fachada principal predomina a orientação para Este (Nascente) (Figura 12).

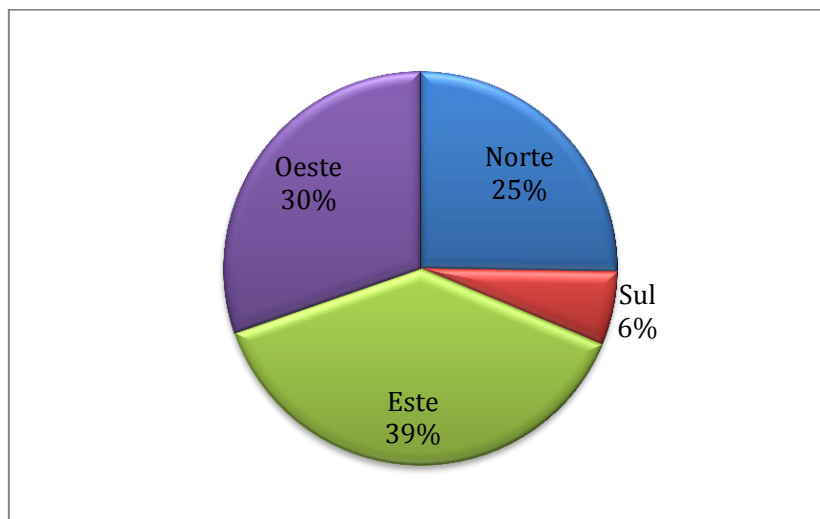


Figura 12: Características da habitação: orientação da fachada principal

Todas as residências inquiridas têm água canalizada. Em termos de área útil das moradias os valores obtidos variam entre um mínimo de 40 m², moradia em banda localizada no centro histórico, e o máximo de 750 m², correspondente a uma moradia isolada. As dimensões dos apartamentos situam-se numa gama mais estreita, compreendida entre um mínimo de 80m² e um máximo de 300m². As dimensões mais comuns são no entanto de 140 m² e de 240 m², em apartamentos e moradias respetivamente.

4.2. PADRÃO DE UTILIZAÇÃO DE FONTES DE ENERGIA

Na análise do padrão de consumo energético doméstico na cidade de Bragança foram consideradas as seis fontes energéticas mais significativas, nomeadamente eletricidade, gás natural, gás de garrafa, biomassa lenhosa, gasóleo de aquecimento e energias renováveis (painéis solares térmicos e fotovoltaicos).

A eletricidade, a principal fonte energética, encontra-se disponível em todas as habitações. O gás natural apresenta-se como a segunda fonte de energia com mais utilizadores coletivos (agregados familiares), servindo 65% das residências, seguida da biomassa lenhosa com 42,8% de utilizadores, o gás de garrafa com 30%, 26% para butano e 4% para propano e do gasóleo com utilização em cerca de 12% dos alojamentos, essencialmente em moradias. A utilização de energia proveniente dos sistemas solares e/ou de microaerogeração tem ainda pouca representatividade na cidade, estimando-se a sua presença em apenas 3% do total de residências (Figura 13).

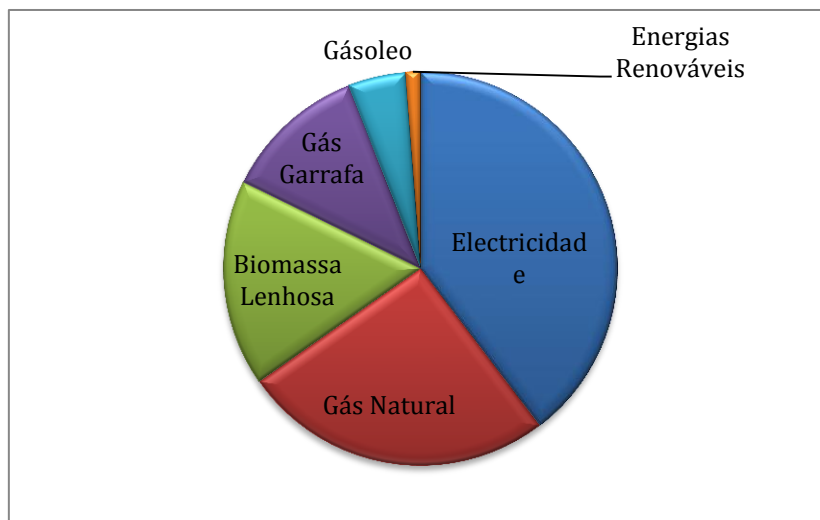


Figura 13: Distribuição de fontes energéticas consumidas na cidade de Bragança

Estimou-se que aproximadamente 265 residências utilizam energias renováveis, 1059 residências (essencialmente vivendas) recorrem à utilização de gasóleo, 2647 residências apresentam consumo de gás de garrafa, 3795 residências utilizam biomassa lenhosa e 5736 alojamentos (basicamente apartamentos) com consumo de gás natural (Figura 14).

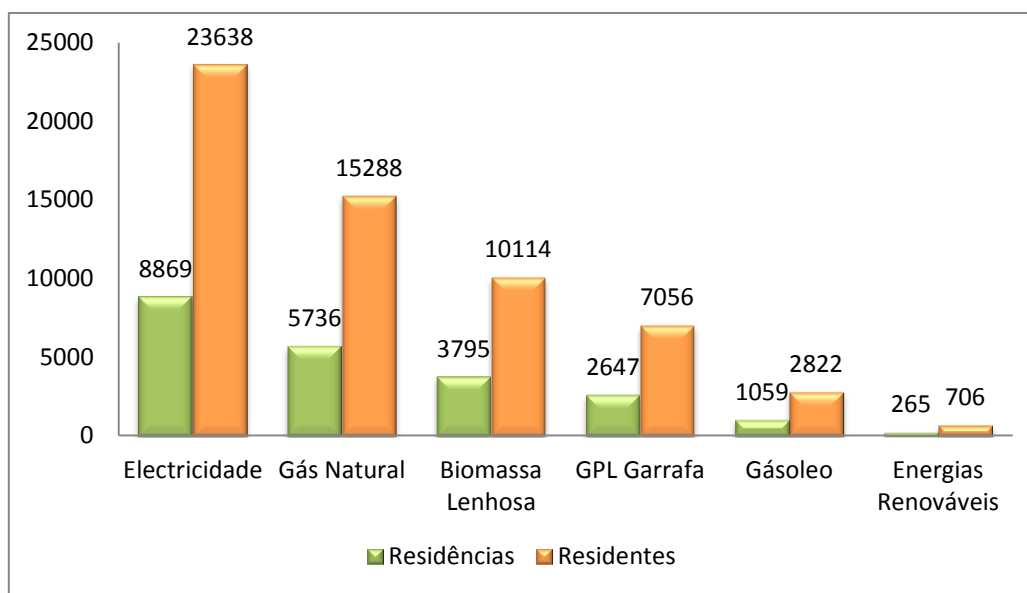


Figura 14: Estimativa do número de residências e residentes utilizadores das diferentes fontes energéticas

As fontes de energia são utilizadas para diferentes fins, nomeadamente no aquecimento do ar ambiente, no aquecimento de águas sanitárias, na preparação de alimento (cozinhar), na iluminação e na operação de equipamentos vários. Ao analisar a contribuição relativa de cada fonte para cada tipo de utilização verifica-se que para aquecimento do ar ambiente há 0,4% famílias que afirmam não utilizar qualquer tipo de fonte energética. A biomassa lenhosa surge como a principal escolha muito próximo da eletricidade e do gás natural. Para aquecimento de águas sanitárias as energias renováveis e a biomassa lenhosa evidenciam-se com um peso de 2,4% em ambas as energias, o gás natural é selecionado como a principal opção feita pelas famílias. Para cozinhar o gás natural apresenta-se como a fonte com mais peso, seguindo-se a eletricidade e o gás de garrafa (Tabela 17).

Tabela 17: Contribuição relativa de cada fonte energética por tipo de utilização/função

Função	Fonte Energética							Total
	Eletricidade	Gás Natural	Gás Garrafa	Gasóleo	Biomassa Lenhosa	Energia Renováveis	Não Utiliza	
Aquecimento Ar	29,1%	27,2%	4,2%	6,5%	32,6%	0,0%	0,4%	100%
Aquecimento Águas	8,2%	59,1%	17,3%	10,6%	2,4%	2,4%	0,0%	100%
Cozinhar	33,2%	40,4%	23,1%	0,0%	3,4%	0,0%	0,0%	100%
Iluminação Equipamento	100%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	100%

A iluminação e equipamentos são funções domésticas exclusivamente fornecidas por eletricidade e correspondem a aproximadamente a 74% do consumo de eletricidade. O gás natural e o gásóleo têm utilização máxima no aquecimento de águas sanitárias, enquanto o gás de garrafa é utilizado para a preparação de alimentos (50%). A biomassa lenhosa é a fonte energética que regista a maior diferença de consumos para as várias funções, apresentando uma taxa de utilização de cerca de 85% para o aquecimento do ar ambiente (Tabela 18).

Tabela 18: Estimativa do peso de cada fonte energética por tipo de utilização

Função	Fonte Energética				
	Eletricidade	Gás Natural	Gás Garrafa	Gasóleo	Biomassa Lenhosa
Aquecimento Ar	10,76%	21,47%	9,42%	38,01%	84,90%
Aquecimento Águas	3,03%	46,65%	38,79%	61,99%	6,25%
Cozinhar	12,27%	31,89%	51,79%	0%	8,85%
Iluminação	36,97%	0%	0%	0%	0%
Equipamentos	36,97%	0%	0%	0%	0%
Total	100%	100%	100%	100%	100%

As energias renováveis têm pouca representatividade na cidade, encontrando-se principalmente localizadas na freguesia da Sé. O equipamento comum em cada residência familiar é o solar térmico, com uma taxa de utilização de 50%, exclusivo para aquecimento de águas sanitárias; solar fotovoltaico apenas para venda energética à rede pública, utilizado por 17% das famílias e a conjugação de ambos os equipamentos verifica-se em 33% das residências. No total, estima-se a existência de 353 equipamentos para produção de energia limpa, dos quais 62,5% são para aquecimento de águas sanitárias e os restantes 37,5% para venda de energia.

4.2.1. FONTES ENERGÉTICAS UTILIZADAS NO AQUECIMENTO DO AR AMBIENTE

Na análise dos resultados obtidos relativamente ao aquecimento do ar ambiente, verifica-se que 99,6% das famílias utilizam equipamentos para aquecimento, correspondendo a um total de 8834 residências na cidade de Bragança. A biomassa lenhosa destaca-se como a fonte energética mais utilizada, através da utilização de lareira, seguindo-se a eletricidade (aquecedores, radiadores a óleo e termoventiladores), o gás natural e o gásóleo de aquecimento através da instalação de aquecimento central por radiadores, (cerca de 63,2% das residências têm instalação) e finalmente o gás de garrafa (aquecedor a gás) (Figura 15).

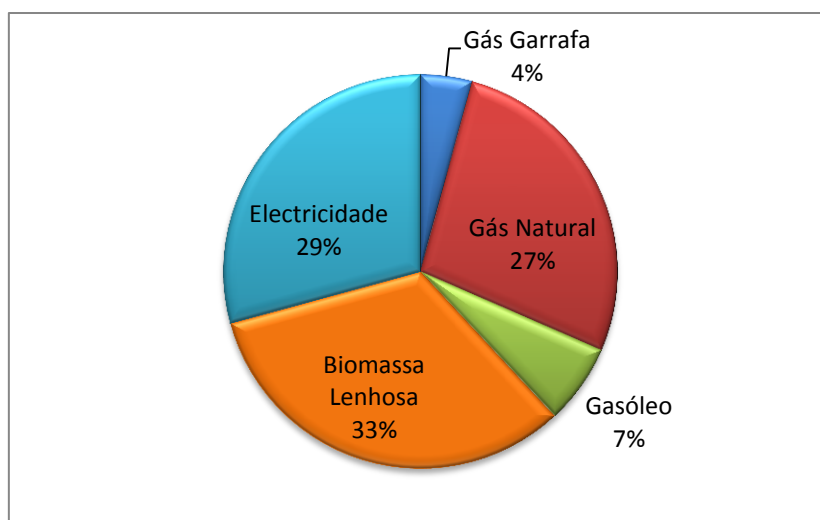


Figura 15: Fontes energéticas utilizadas no aquecimento do ar ambiente

Na cidade, cerca de 69,2% das famílias assume consumir apenas uma fonte energética no alojamento, enquanto os restantes 30,3% confirmam a utilização de mais do que uma fonte energética para aquecimento do ar ambiente. Aproximadamente 1% dos agregados conjuga a utilização da eletricidade com o gás natural e 2,5% utiliza em simultâneo eletricidade e gás de garrafa. A maior combinação de fontes domésticas verifica-se na biomassa lenhosa (26,9%) onde 11,9% das famílias assume utilizar também eletricidade, 8% gás natural, 6% gasóleo e 1% gás de garrafa.

Há claras diferenças no consumo de fontes energéticas para aquecimento do ar ambiente consoante o tipo de habitação. O gasóleo de aquecimento é tipicamente utilizado em moradias (94%), enquanto o gás natural é uma fonte energética essencialmente utilizada em apartamentos (87%). A biomassa lenhosa apresenta-se como uma fonte energética procurada por ambos os tipos de residências (Tabela 19). Em sensivelmente 3% das moradias é utilizado mais do que um queimador.

Tabela 19: Relação do consumo energético por residências para aquecimento do ar ambiente

Tipo Habitação	Fonte Energética				
	Gasóleo	Gás Garrafa	Gás Natural	Eletricidade	Biomassa Lenhosa
Apartamento	6%	73%	87%	82%	48%
Moradia	94%	27%	13%	18%	52%

Verifica-se ainda que o ano de construção da habitação é relevante para o tipo de equipamento utilizado. Enquanto, a lareira aberta e a estufa/salamandra são equipamentos comuns em residências construídas antes de 1990, o aquecimento central

surge, em força, a partir dos anos 1990. Já o aquecimento com lareiras fechadas é mais frequente durante os períodos 1991-1999 e a caldeira só surge a partir dos anos 2000, (Figura 16).

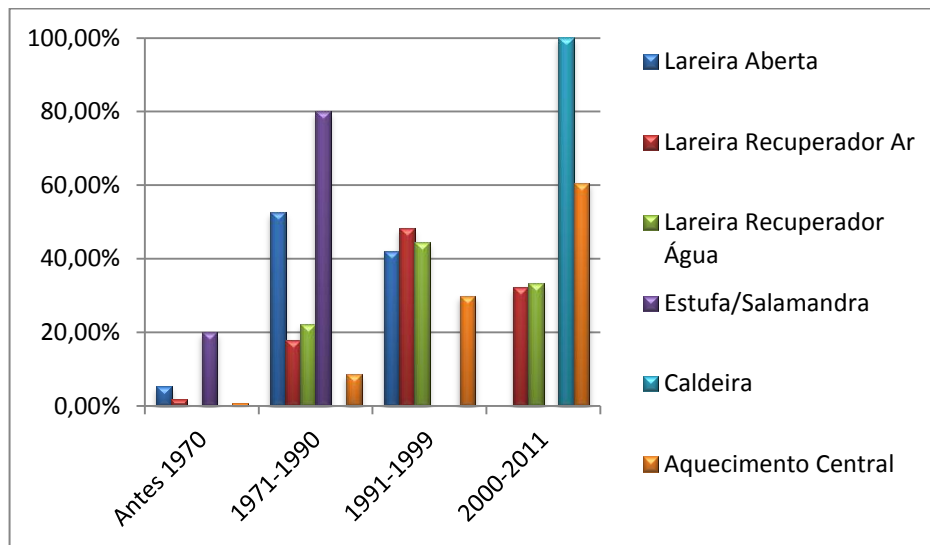


Figura 16: Equipamentos utilizados para aquecimento em função do ano de construção da residência

O aquecimento do ar ambiente influencia diretamente os consumos anuais de todas as fontes energéticas, devido ao aumento do consumo num determinado período do ano. Os meses do ano com maior consumo são novembro, dezembro, janeiro e fevereiro, devido às temperaturas mais baixas que se fazem sentir. Semanalmente, todas as fontes energéticas apresentam consumos durante os sete dias, à exceção da biomassa lenhosa, onde há residências que optam pela utilização apenas ao fim de semana. O consumo acontece, normalmente, entre quatro a oito horas diárias (Tabela 20).

Tabela 20: Período de utilização dos sistemas de aquecimento do ar ambiente

Fonte Energética	Diário (horas/dia)			Semanal (dias/semana)			Mensal (meses/ano)		
	Menos de 4	4 a 8	Mais de 8	Menos de 3	4 a 5	Mais de 6	Menos de 3	4 a 6	Mais de 6
Gasóleo	35%	35%	29%	12%	0%	88%	29%	65%	6%
Gás Garrafa	45%	45%	9%	0%	9%	91%	36%	64%	0%
Gás Natural	39%	45%	15%	11%	15%	73%	35%	55%	10%
Eletricidade	28%	47%	25%	5%	34%	61%	25%	72%	3%
Biomassa Lenhosa	18%	55%	27%	21%	34%	45%	20%	61%	19%

4.2.2. FONTES ENERGÉTICAS UTILIZADAS NO AQUECIMENTO DE ÁGUAS SANITÁRIAS

No aquecimento de águas sanitárias, o consumo reparte-se por todas as fontes energéticas, com maior destaque para o gás natural (caldeiras) e gás de garrafa (esquentadores). A biomassa lenhosa e as energias renováveis (sistema solar térmico) encontram-se representadas, embora com menor significância. A biomassa lenhosa é ainda utilizada para aquecimento de águas sanitárias durante os meses mais frios, como forma de reaproveitamento da queima de biomassa para aquecimento do ar ambiente. Ambas as fontes energéticas são utilizadas juntamente com as outras fontes, em especial gasóleo e o gás natural (Figura 17).

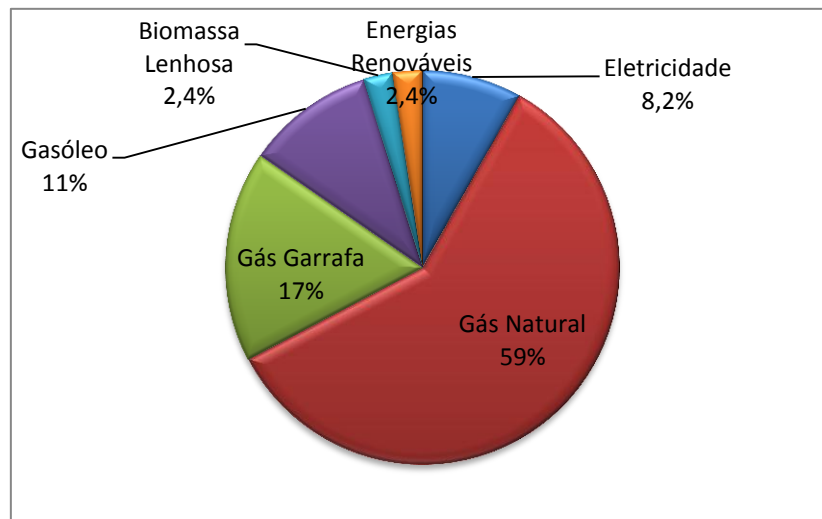


Figura 17: Fontes energéticas utilizadas no aquecimento de águas sanitárias

No que diz respeito ao consumo por residência, verifica-se que o gasóleo e as energias renováveis são ainda fontes energéticas de uso exclusivo de moradias, já o gás natural e a eletricidade apresentam-se como as fontes energéticas mais procuradas em apartamentos (Tabela 21).

Tabela 21: Relação do consumo energético por residências para aquecimento de águas sanitárias

Tipo Habitação	Fonte Energética					
	Gasóleo	Gás Garrafa	Gás Natural	Eletricidade	Biomassa Lenhosa	Energias Renováveis
Apartamento	0%	47%	89%	71%	20%	0%
Moradia	100%	53%	11%	29%	80%	100%

4.2.3. FONTES ENERGÉTICAS UTILIZADAS PARA COZINHAR

Para cozinhar, o gás natural é a fonte energética mais utilizada, seguindo-se a eletricidade através da utilização de placa, micro-ondas e forno elétrico e por fim o gás de garrafa, pelo fogão a gás (Figura 18).

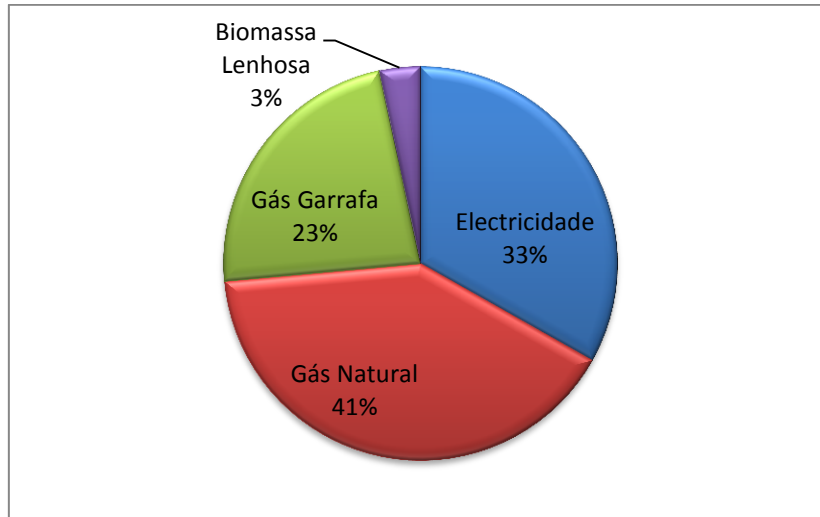


Figura 18: Fontes energéticas utilizadas para cozinhar

Na cidade de Bragança é típico o uso de cozinha a lenha. Verifica-se ao longo de todo o ano combustão de biomassa lenhosa para aquecimento e preparação de alimentos, salientando-se nos meses mais quentes do ano (junho, julho e agosto) a utilização essencialmente para a preparação de alimentos (Figura 19).

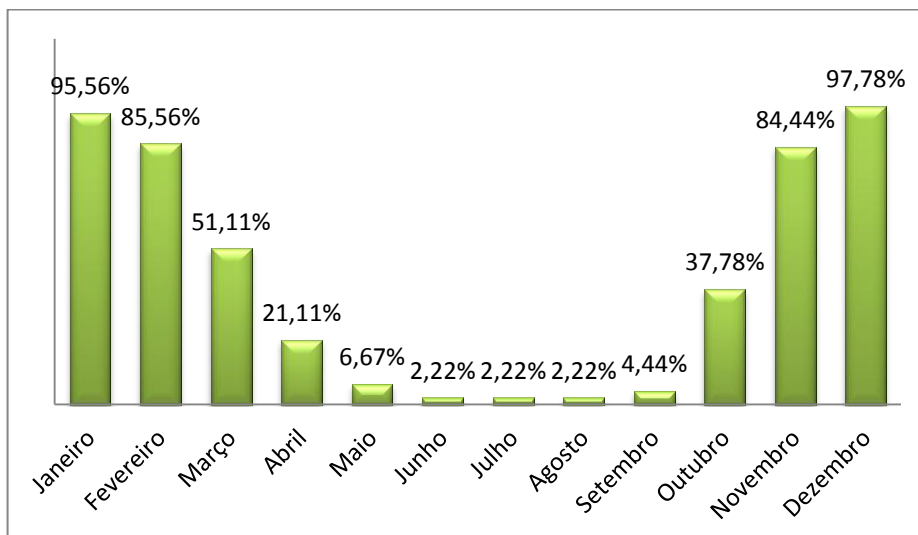


Figura 19: Taxa de funcionamento mensal dos sistemas de combustão doméstica

As residências que recorrem à biomassa lenhosa para preparação de alimentos utilizam-na juntamente com o gás natural, gás de garrafa ou eletricidade. A fonte energética mais

comum para a preparação de alimentos em apartamentos, é o gás natural, seguindo-se a eletricidade. Em moradias é mais comum a utilização de gás de garrafa propano (Tabela 22).

Tabela 22: Relação do consumo energético por residência para cozinhar

Tipo Habitação	Fonte Energética			
	Gás Garrafa	Gás Natural	Eletricidade	Biomassa Lenhosa
Apartamento	42%	87%	67%	14%
Moradia	58%	13%	33%	86%

4.3. PADRÃO DE UTILIZAÇÃO DE BIOMASSA LENHOSA E DOS SISTEMAS DE COMBUSTÃO

A análise dos inquéritos mostrou-nos que na cidade de Bragança aproximadamente 42,7% dos agregados familiares (3795) utilizam biomassa lenhosa como uma fonte primária de energia. A freguesia de Samil é a que apresenta uma maior proporção de famílias que recorrem à biomassa (50%), seguindo-se a freguesia da Sé (47%) e a freguesia de Santa Maria (30%).

No que concerne ao consumo total de biomassa lenhosa, foi possível chegar a uma estimativa de 16765 toneladas por ano, correspondente a 16458 toneladas por ano de lenha, 274 toneladas de pellets e 33 toneladas de briquetes. Estima-se que cada alojamento utilizador de biomassa lenhosa consome anualmente 4,4 toneladas. Considerando todos os alojamentos da cidade de Bragança, o consumo por habitação é de 1,9 toneladas por ano.

A biomassa lenhosa consumida nos alojamentos destinou-se principalmente ao aquecimento do ar ambiente (99% do total de utilizadores). A utilização para a cozinha e aquecimento de águas registou um peso de 8 % e 6 %, respetivamente.

O recurso a biomassa lenhosa como fonte energética é mais frequente em moradias (52%), do que em apartamentos (48%). Estima-se que existam, no total, 3971 queimadores em funcionamento ao longo do ano. Verifica-se que 95,6% dos equipamentos são únicos nas residências e 4,4% de equipamentos são utilizados na mesma residência (uma média de 2 equipamentos por alojamento). Os queimadores mais utilizados pelos residentes são as lareiras fechadas (72% utilizadores: 62% recuperador ar e 10% recuperador água), seguido por lareiras abertas (21%), estufas/salamandras (6%) e caldeiras (1%).

As espécies florestais mais consumidas na região são o carvalho negral (*Quercus pyrenaica*), representando 42% do consumo, freixo (*Fraxinus excelsior*), 21%, e castanheiro (*Castanea sativa*), 17%. O consumo de pinheiro bravo (*Pinus pinaster*) e oliveira (*Olea europaea*) corresponde a 5% do total. Na região é ainda comum o consumo de outras espécies tais como a azinheira (*Quercus ilex*), cerejeira (*Prunus*), sobreiro (*Quercus suber*), videira (*Vitis vinífera*), amendoeira (*Prunus dulcis*), macieira (*Malus sp.*), amieiro (*Alnus glutinosa*), espécies arbustivas e ainda resíduos florestais variados (RFV), representando 15% do consumo total (Tabela 23).

Tabela 23: Estimativa do consumo de biomassa lenhosa por espécie florestal e equipamento (Ton/ano)

Tipo Combustível	Tipo Biomassa	Consumo (Ton/ano)				
		Lareira Aberta	Lareira Fechada		Estufa	Caldeira
			Recuperador Ar	Recuperador Água		
Lenha	Carvalho	1447	633	4431	362	0
	Castanheiro	723	452	1447	181	0
	Pinheiro	362	0	543	0	0
	Freixo	633	633	1899	271	0
	Oliveira	181	90	362	181	0
	Outras espécies	904	0	723	0	0
Derivados da Biomassa	Briquetes	0	0	0	33	0
	Pellets	0	0	0	0	274
Total		4250	1808	9405	1028	274

Relativamente à sua proveniência, aproximadamente 49% da lenha consumida é dos proprietários, 47% comprada e os restantes 4% é de outra proveniência (apanhada nas proximidades, cedida e arrendada (aluguer de terrenos para consumo da lenha existente).

Verificou-se ainda que em 5,6% das habitações são queimados outros materiais como papel e plástico juntamente com a biomassa lenhosa.

O período de funcionamento dos equipamentos é essencialmente entre Dezembro e Fevereiro. Semanalmente, o equipamento é utilizado por cerca de 43% das famílias, nos dias úteis a taxa de utilização é de 24%, aos fim-de-semana verifica-se utilização de 18%, os restantes 15% são utilizações esporádicas durante a semana (1 a 2 dias). Os queimadores trabalham em média quatro a oito horas diárias. Ao longo do dia, o período de maior utilização é entre as 18h00 e as 24h00 (Tabela 24).

Tabela 24: Período de funcionamento dos queimadores a biomassa lenhosa (horas do dia)

Período de Funcionamento: Horas do Dia			
00h - 24h	08 - 24h	12h-24h	18h-24h
6%	14%	12%	68%

As churrasqueiras e grelhadores para combustão de biomassa lenhosa foram igualmente considerados. Verificou-se que cerca de 11% dos residentes da cidade de Bragança os utilizam essencialmente durante os meses mais quentes do ano (3 meses). O combustível utilizado é a lenha e o carvão, cerca de 67% e 33%, respetivamente. Esta prática é mais comum em moradias (90%) do que em apartamentos (10%) e normalmente o período de utilização nunca é superior a 1h30.

4.4. ANÁLISE ENERGÉTICA E O CONTRIBUTO DA BIOMASSA LENHOSA

Na cidade de Bragança, estima-se que no setor residencial se utilizam anualmente cerca de 573594,49 GJ de energia final. A análise energética efetuada neste estudo permite verificar que a biomassa lenhosa é o recurso energético que mais energia fornece aos habitantes, seguindo-se a eletricidade e o gás natural. O gás de garrafa é a fonte energética que menos consumo regista na cidade (Tabela 25).

Tabela 25: Consumo energético total, residencial e per capita por fonte energética (GJ/ano)

Fontes Energéticas	Consumo Energético Cidade Bragança (GJ/ano)		
	Total	Alojamento (8869 Alojamentos)	per capita (23638 hab)
Biomassa lenhosa	245607,3	27,7	10,4
Eletricidade	141237,4	15,9	6,0
Gás Natural	122079,7	13,8	5,2
Gás Garrafa	21537,4	2,4	0,9
Gasóleo	43132,8	4,9	1,8

Ao analisar os consumos energéticos por alojamento utilizador e por consumidor de uma dada fonte, verifica-se que biomassa lenhosa continua a apresentar um consumo por alojamento e por consumidor elevado face às outras fontes. Em relação ao gasóleo constata-se, como era expectável, que é um recurso energético usado num menor número de alojamento, mas com alguma intensidade (Tabela 26).

Tabela 26: Consumo energético por alojamentos utilizadores e consumidores (GJ/ano)

Fontes Energéticas	Consumo Energético por Nº Utilizadores (GJ/ano)	
	Alojamentos Utilizadores (Famílias)	Consumidores (Habitantes)
Biomassa lenhosa	64,7	24,3
Eletricidade	15,9	6,0
Gás Natural	21,3	8,0
Gás Garrafa	8,1	3,1
Gasóleo	40,7	15,3

Na estimativa do consumo energético total por fonte energética verifica-se que a eletricidade é despendida essencialmente em equipamentos e iluminação. No aquecimento do ar ambiente a biomassa lenhosa é o recurso energético mais consumido. Para aquecimento de águas sanitárias e cozinhar verifica-se que o maior gasto energético é de gás natural, muito embora se verifique que o gás de garrafa é essencialmente despendido para cozinhar e o gasóleo para aquecimento de águas sanitárias (Tabela 27).

Tabela 27: Consumo energético anual por tipo de utilização (GJ/Ano)

Função	Consumo Anual por Fonte Energética (GJ)/(Ano)				
	Eletricidade	Gás Natural	Gás Garrafa	Gasóleo	Biomassa Lenhosa
Aquecimento Ar	15194,1	26208,1	2028,2	16395,5	208510,3
Aquecimento Águas	4281,5	56944,8	8354,2	26737,3	15350,5
Cozinhar	17334,9	38926,7	11155,0	0,0	21746,5
Iluminação/Equipamentos	104426,9	0,0	0,0	0,0	0,0
Total	141237,4	122079,7	21537,4	43132,8	245607,3

Os consumos energéticos são distintos em apartamentos e vivendas na cidade, facto que se deve sobretudo ao número de alojamentos. No caso do aquecimento do ar ambiente, o maior consumo de gasóleo regista-se em moradias como seria de esperar, o gás natural é despendido sobretudo em apartamentos, o consumo de energia associado à biomassa lenhosa é semelhante para ambos os tipos de residência. Para o aquecimento de águas sanitárias o gasóleo é exclusivamente utilizado em moradias, os apartamentos registam maior consumo de gás natural. Cozinhar em moradias é mais comum a utilização de gás de garrafa (propano), já nos apartamentos verifica-se consumo de gás natural mais acentuado (Tabela 28).

Tabela 28: Consumo energético residencial na cidade de Bragança (apartamento e moradia) (GJ/ano)

Consumo (GJ/ano)	Aquecimento Ar Ambiente			Aquecimento Águas Sanitárias			Cozinhar		
	Apart.	Mor.	Total	Apart.	Mor.	Total	Apart.	Mor.	Total
Biomassa Lenhosa	100085	108425	208510	3070	12280	15350	3044	18702	21746
Gás Garrafa	1480	547	2028	3926	4427	8354	4685	6469	11155
Gás Natural	22801	3407	26208	50680	6263,9	56944	33866	5060	38926
Eletricidade	12459	2734	15194	3049	1241,6	4281	11614	5720	17334
Gasóleo	983	15411	16395	0	26737	26737	0	0	0

Estima-se que as energias renováveis na cidade de Bragança apresentem uma produção anual de 1464 GJ e que cada residência produza em média 5,5 GJ/ano posteriormente vendida à rede pública energética.

4.5. AS EMISSÕES DE POLUENTES ATMOSFÉRICOS E GEE

As emissões do processo de combustão de biomassa lenhosa dependem das condições em que estas ocorrem. Estima-se que sejam emitidos anualmente 1421 toneladas de poluentes atmosféricos (PM, SO_x, NO_x, CO, COV e PAH) e 28546 toneladas de GEE (CO₂, CH₄ e N₂O) provenientes da queima doméstica de biomassa lenhosa (Tabela 29).

Tabela 29: Total de emissões de poluentes atmosféricos (Ton/ano)

Poluentes Emitidos	Emissões Totais (Ton/ano)
SOX	2,773
NH ₃	2,654
Metais Pesados	0,046
Σ Benzeno	0,170
CO ₂	26345,6
CH ₄	83,197
N ₂ O	1,192
SO ₂	3,467
CO ₂ ^{eq}	2116,8
PCB	0,0000166
HCB	0,0000017
NO _x *	13,866
CO *	1055,96
PM ₁₀ *	69,924
PM _{2,5} *	68,189

COV *	202,673
PAH *	1,353

* Cálculo de emissões utilizando valores frequentes de FE

Uma vez que o CO₂ emitido pela combustão residencial de biomassa lenhosa é recuperado pelo ambiente (fotossíntese), verifica-se que o CO é o poluente com maiores emissões, aproximadamente 70%, seguindo-se o COV com 13% e a matéria particulada com cerca de 9% de emissões (Figura 20).

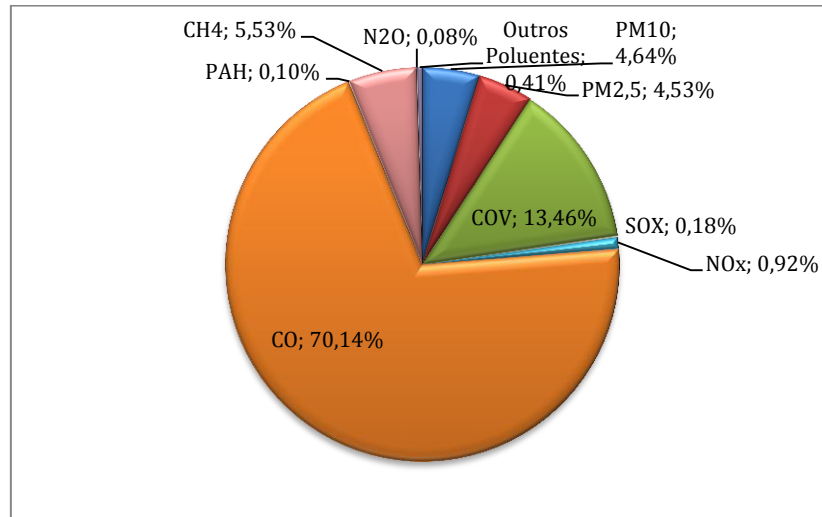
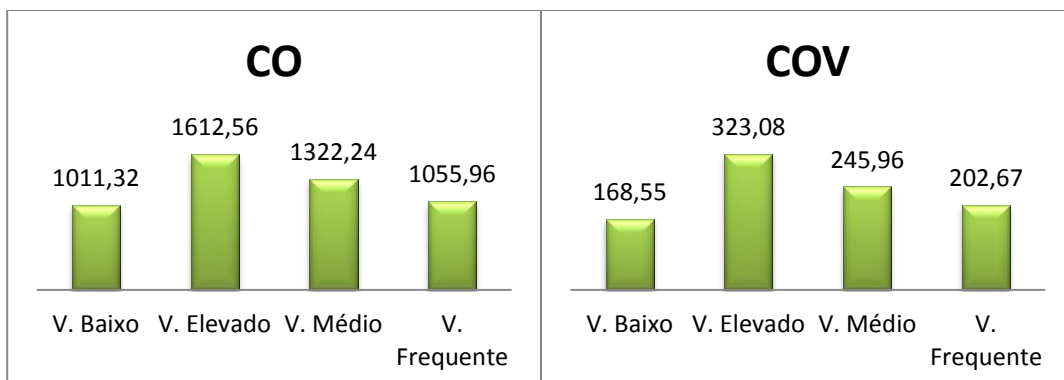


Figura 20: Composição das emissões de poluentes atmosféricos provenientes da combustão de biomassa lenhosa na cidade de Bragança

A análise de emissões de NO_x, CO, COV, PM₁₀, PM_{2,5} e PAH, considerando os valores de fatores de emissão mais baixos, valores mais elevados, valores médios e valores frequentes encontrados na literatura, permitiu verificar a variabilidade de emissões que é possível obter recorrendo a este método para cálculo de emissões (Figura 21).



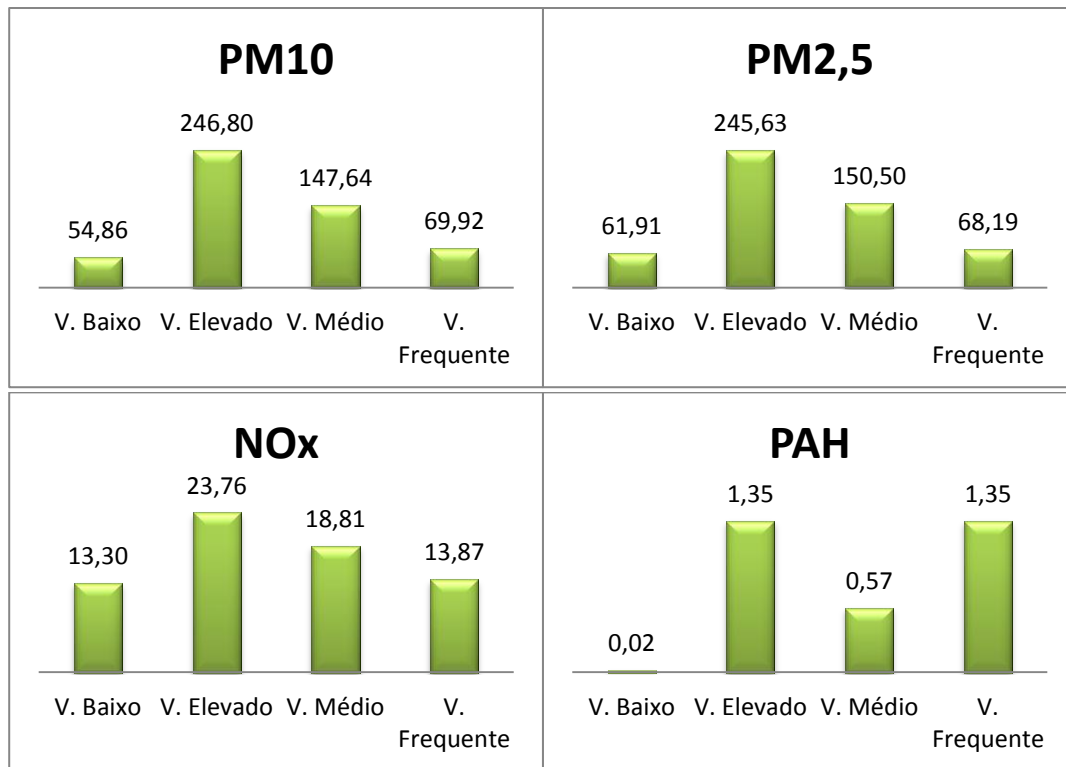


Figura 21: Emissões anuais de CO, COV, NOx, PAH, PM₁₀ e PM_{2,5}: valor baixo, elevado, médio e frequente (Ton/ano)

A Figura 21 mostra a variabilidade de valores que se podem obter em função da seleção dos fatores de emissão. A utilização dos valores mais elevados e mais baixos de fatores de emissão, encontrados na literatura para um determinado poluente resulta em emissões substancialmente distintas, com variações superiores a mil toneladas por ano. No caso das PM₁₀, PM_{2,5} e PAH as diferenças são superiores a 70% (Tabela 30).

Tabela 30: Variação anual de emissões (diferença entre valores mais baixos e valores mais elevados)

Poluentes Atmosféricos	Variação Anual (Ton/ano)	Taxa de Variação
NOx	10,459	44,03%
CO	601,235	37,28%
PM ₁₀	191,939	77,77%
PM _{2,5}	183,712	74,79%
COV	154,530	47,83%
PAH	1,334	98,63%

5. ANÁLISE COMPARATIVA DOS RESULTADOS

5.1. PADRÃO DE UTILIZAÇÃO E CONSUMOS ENERGÉTICOS

A electricidade apresenta-se como a principal fonte energética consumida no setor residencial da cidade de Bragança seguindo-se o gás natural a biomassa lenhosa, o gás de garrafa e o gasóleo de aquecimento.

A análise aos consumos energéticos anuais permitiu verificar que a biomassa lenhosa é o recurso que mais energia proporciona às residências, aproximadamente de 245607 GJ/ano, seguindo-se a electricidade com consumo de 141237 GJ/ano, o gás natural regista um consumo de cerca 122080 GJ/ano, o gasóleo sensivelmente 43133 GJ/ano e finalmente o gás de garrafa 21537 GJ/ano.

Relação dos consumos da cidade de Bragança com os consumos nacionais

O resultado mais recente da DGEG (2011) relativo aos consumos energéticos em Portugal Continental no ano 2010 indica que a electricidade é a fonte energética com maior peso nas habitações, seguindo-se a lenha, o gás de garrafa, gás natural e gasóleo. Na cidade de Bragança o consumo de lenha representa a principal fonte de energia (Tabela 31). A taxa de consumos energéticos domésticos na cidade de Bragança comparativamente a Portugal é inferior a 1% para todas as fontes energéticas, à exceção do gás natural que corresponde a 1,11% (Tabela 31).

Tabela 31: Relação dos consumos totais no setor doméstico em Portugal Continental no ano 2010 (DGEG, 2011) e a Cidade de Bragança em 2011-12 (resultados do estudo)

Consumos Totais (GJ/ano)	Portugal Continental, 2010	Cidade de Bragança, 2011-12	Taxa de Consumo, Cidade Bragança
Electricidade	50204224	141237	0,28%
Lenha	29327822	245607	0,84%
Gás Garrafa	18423511	21537	0,12%
Gás Natural	11032511	122080	1,11%
Gasóleo	5218260	43133	0,83%

A análise dos consumos anuais por alojamento revela que em Portugal Continental o gasóleo é a fonte que apresenta maior gasto, seguindo-se a lenha. Na cidade de Bragança o

consumo verifica-se uma utilização mais intensa da lenha por alojamento utilizador, como seria de esperar (Tabela 32). Para cada uma das fontes de energia que consta da Tabela 32 foi considerado o número de alojamentos que utilizam essa fonte de energia.

Tabela 32: Consumos anuais por alojamento em Portugal Continental, 2010 (DGEG, 2011) e a Cidade de Bragança, 2011-12 (resultados do estudo)

Consumos por alojamento (GJ/ano)	Portugal Continental, 2010	Cidade Bragança, 2011-12
Eletricidade	13,3	15,9
Lenha	19,0	64,7
Gás Garrafa	7,3	8,1
Gás Natural	14,1	21,3
Gasóleo	36,6	40,7

Em relação às outras fontes, as diferenças encontradas são menos significativas, sendo demonstrativas da existência de um padrão de consumo na cidade de Bragança muito equivalente ao de Portugal Continental.

Analisando agora os consumos energéticos pelas diferentes funções domésticas, verifica-se que o gasóleo é a fonte mais utilizada no aquecimento de ar e água, e a lenha é a fonte mais utilizada na função de cozinhar. A cidade de Bragança distingue-se do padrão nacional, dado que a lenha surge como a principal fonte energética em todas as funções. (Tabela 33).

Tabela 33: Consumos energéticos por função entre Portugal Continental (PC), em 2010 (DGEG, 2011) e a cidade de Bragança (CB), em 2011-12 (resultados do estudo)

Fontes de Energia	Consumos Energéticos por Função no Alojamento (GJ/ano)							
	Aquecimento Ambiente		Aquecimento Águas		Cozinhar		Iluminação Equipamentos	
	PC	CB	PC	CB	PC	CB	PC	CB
Eletricidade	1,5	4,9	1,5	5,7	3,6	5,7	4,7	11,8
Lenha	12,0	55,6	11,4	69,6	9,8	70,4	0,0	0,0
Gasóleo	23,8	21,9	19,3	27,5	0,0	0,0	0,0	0,0
Gás Natural	4,5	8,4	9,1	10,5	5,7	5,3	0,0	0,0
Gás Garrafa	3,3	4,2	10,7	5,3	7,8	10,5	0,0	0,0

Relação dos consumos da cidade de Bragança com os consumos do distrito de Bragança

Um estudo recente realizado por Gonçalves *et al.*, (2011) identifica no distrito de Bragança 52% de residências que recorrem à combustão de lenha, consumindo um total de 78257

toneladas por ano. Na cidade de Bragança o consumo residencial por alojamento consumidor regista-se consideravelmente superior (4,4 Ton/ano) comparativamente ao consumo registado no distrito (2,8 Ton/ano) (Tabela 34).

Tabela 34: Consumos de lenha entre o distrito de Bragança, em 2010 (Gonçalves *et al.*, 2001) e a cidade de Bragança, em 2011 -12 (resultados do estudo)

Consumo Lenha	Nº Famílias (Censos 2011)	Consumo (%)	Consumo Total (Ton/ano)	Consumo Residencial por alojamento consumidor (Ton/ano)
Distrito Bragança	13868	52	78 257	2,8
Cidade Bragança	8869	43	16 765	4,4

Relação dos consumos da cidade de Bragança com os consumos do concelho de Bragança

Em 2009 o trabalho de Ferreira *et al.* (2009), abrangendo 12768 famílias (INE, 2001) apresenta a lenha como a fonte energética mais relevante no concelho de Bragança, com cerca de 442208,5 GJ/ano, seguindo-se a eletricidade, gás natural e por fim gás de garrafa. No concelho de Bragança apenas o perímetro urbano da cidade é abastecido com gás natural e o consumo do mesmo tem aumentado nos últimos anos, deste modo verifica-se um ligeiro aumento de consumo, que se deve também ao aumento da procura nos últimos anos (Tabela 35).

Tabela 35: Consumos energéticos no Concelho de Bragança, em 2009 (Ferreira *et al.*, 2009) e na Cidade de Bragança, em 2011-12 (resultados do estudo)

Consumo (GJ/ano)	Concelho de Bragança, 2009	Cidade de Bragança, 2011-2012
Eletricidade	185983,1	141237,4
Gás Garrafa	29088,8	21537,4
Gás Natural	98430,3	122079,7
Lenha	442208,5	245607,3

Relação dos consumos da cidade de Bragança entre o ano 2001 e o ano 2011-2012

Comparando os resultados dos Censos 2001 (INE, 2001) com o presente estudo relativamente aos equipamentos de aquecimento utilizados na residência: aparelhos móveis (eletricidade e gás garrafa), aquecimento central (gasóleo e gás natural), equipamentos de combustão, lareiras, fogões e estufas/salamandras (biomassa lenhosa) e sem equipamento, entre o ano 2011 e 2012. Verifica-se que há um aumento de 4,8% de famílias a utilizarem equipamentos de combustão de biomassa lenhosa na residência,

diminuição de 2% das famílias que não utilizam equipamentos e da utilização de equipamentos a eletricidade e gás de garrafa de 32, 5% (Tabela 36).

Tabela 36: Variação do número de utilizadores na cidade de Bragança, em 2001 (INE, 2001) e em 2011-12 (resultados do estudo)

Cidade de Bragança	Ano 2001 (7400 famílias)		Ano 2011-12 (8869 famílias)		Taxa de Variação
	Nº Famílias	% Utilização	Nº Famílias	% Utilização	
	Consumidoras	na Cidade	Consumidoras	na Cidade	
Aparelhos móveis	3408	46,1%	1204	13,6%	-32,5%
Aquecimento Central	1181	16,0%	1634	18,4%	2,5%
Equipamentos Combustão	2780	37,6%	3757	42,4%	4,8%
Sem Aquecimento	180	2,4%	35	0,4%	-2,0%

Relação dos consumos na cidade de Bragança com outras cidades no mundo

Na cidade de Xian (Tonooka *et al.*, 2006) a aplicação de inquéritos a mais de 200 residências durante o inverno de 2003/2004 permitiu analisar os consumos domésticos para cozinhar e aquecimento do ar, verificando-se que o principal recurso é a biomassa. Para cozinhar, o Kang (combustível tradicional composto por resíduos e podas de produtos agrícolas), apresenta 51% de utilização, seguindo-se o carvão (16%), o gás de garrafa (14%), ramos de madeira (8%) e os restantes 11% de outras fontes de kang. Relativamente ao aquecimento do ambiente os consumos são de 50% kang, 33% de carvão, 11% outras fontes de kang, 2% eletricidade e 4% de ramos de madeira. Este estudo evidencia a forte dependência de biomassa na cidade de Xian essencialmente através de resíduos da agricultura, diferente do consumo de biomassa na cidade de Bragança que é essencialmente florestal.

Na província de Lombardy, Itália, um estudo ao consumo residencial (Caserini *et al.*, 2007) concluiu que 8201 famílias utilizam lenha como fonte energética na habitação, verificando-se uma combustão anual de 33.2 kT de lenha. O consumo médio por residência consumidora é de 4 toneladas por ano registando-se um consumo residencial máximo de 5,4 Ton/ano em Mantoya e o consumo residencial mínimo de 2,9 Ton/ano em Milão. Comparativamente à cidade de Bragança os consumos residenciais em alojamentos

consumidores são semelhantes (4,4 Ton/ano). Os equipamentos de combustão utilizados são lareiras fechadas (30%), estufas tradicionais (23%), lareiras abertas (16%), estufas inovadoras (16%), caldeiras (7%) e equipamentos alternativos (8%). Na cidade de Bragança também as lareiras fechadas são o principal equipamento de combustão (72%), enquanto as caldeiras estão instaladas num número bastante reduzido, representado cerca de 1%.

5.2. POLUENTES ATMOSFÉRICOS E GEE

Análise de emissões no distrito de Bragança

Comparou-se as emissões de CO, CO₂ e PM_{2,5} na cidade de Bragança estimadas para este trabalho com as emissões domésticas do distrito (Gonçalves *et al.*, 2012), em períodos semelhantes de análise. Verifica-se que as emissões de CO na cidade correspondem a aproximadamente 33% das emissões do distrito, emissões de CO₂ a aproximadamente 37% e finalmente PM_{2,5} a 12% de emissões. Os resultados são o que seria de esperar uma vez que a combustão doméstica nas restantes freguesias do distrito de Bragança é consideravelmente superior à das três freguesias da cidade (Tabela 37).

Tabela 37: Análise de emissões de PM_{2,5} CO e CO₂, no concelho de Bragança, em 2011 (Gonçalves *et al.*, 2012) e cidade de Bragança, em 2011-12 (resultados do estudo)

Emissões (Ton/ano)	PM_{2,5}	CO	CO₂
Distrito Bragança	584	3202	70681
Cidade de Bragança	68	1056	26346

Análise de emissões no concelho de Bragança

Realizou-se a comparação entre as emissões do presente estudo com os dados disponibilizados pela APA (2010 e 2011) para o concelho de Bragança em toneladas por ano e ainda em toneladas por quilómetro quadrado tendo em conta que a área do concelho de Bragança é de 1173,63 km² e na cidade de Bragança de 33,19 km² (INE, 2001).

Ainda que não fossem expectáveis valores similares, foram encontradas algumas diferenças, revelando-se, deste modo, as elevadas incertezas inerentes aos inventários de poluentes atmosféricos. Todavia, os valores apresentados na Tabela 38 permitem concluir que as emissões de GEE (CO₂, CH₄ e N₂O) no setor residencial são bastante significativos, assim como as emissões de CO e PM₁₀.

Tabela 38: Análise de emissões totais e emissões no setor residencial do concelho de Bragança em 2009 (APA 2010 e APA 2011) e emissões residenciais na cidade de Bragança (resultados do estudo)

Emissões Atmosféricas	Poluentes						
	Ton/ano (Ton/km ²)						
	SO _x	NO _x	CO*	PM ₁₀	CH ₄	CO ₂	N ₂ O
Concelho Bragança	30,168	681,409	1665,385	282,430	1880,325	90302,567	142,665
(Emissões totais)	(0,026)	(0,581)	(1,419)	(0,241)	(1,602)	(76,943)	(0,122)
Concelho Bragança	14,074	52,475	913,086	75,246	53,885	14526,626	0,990
(Setor Residencial)	(0,012)	(0,045)	(0,778)	(0,064)	(0,046)	(12,337)	(0,001)
Cidade Bragança	2,773	13,866	1055,96	69,924	83,197	26345,637	1,192
(Setor Residencial)	(0,084)	(0,418)	(31,816)	(2,107)	(2,507)	(793,782)	(0,036)

* Emissões referentes ao ano 2008 no Concelho de Bragança

Análise de emissões com outros setores

Realizou-se a análise das emissões residenciais na cidade de Bragança obtidas com a realização do presente estudo com quatro setores: Indústria (processos industriais e a combustão na indústria), Transportes (rodoviários e fora de estrada: militares e agricultura); Resíduos e Efluentes (deposição de resíduos no solo, inceneração resíduos e gestão de águas residuais); Agricultura e Pecuária (emissões diretas para o solo, queima de resíduos e gestão de estrume), com base no relatório de emissões do concelho disponibilizado pela APA (2010;2011). Verifica-se que na cidade as emissões do setor residencial são consideravelmente superiores (Tabela 39).

Tabela 39: Comparação das emissões de poluentes atmosféricos no concelho de Bragança, em 2009 no setor da indústria, transportes, resíduos/efluentes e agricultura/pecuária (APA,2011) com as emissões residenciais na cidade de Bragança 2011-12 (resultados do estudo)

Setor	Emissão Poluentes no Concelho Bragança (Ton/km ²)								
	CO*	SO _x	NO _x	NH ₃	NMVOC	PM ₁₀	CH ₄	CO ₂	N ₂ O
Indústria	0,010	0,008	0,030	0,000	0,024	0,095	0,001	3,857	0,000
Transportes	0,432	0,002	0,484	0,004	0,087	0,035	0,005	60,069	0,006
Resíduos Efluentes	0,006	0,000	0,003	0,007	0,030	0,008	1,105	0,003	0,005
Agricultura Pecuária	0,006	0,003	0,020	0,301	0,040	0,038	0,420	0,000	0,109
Residencial (Cid. Bragança)	31,816	0,084	0,412	0,080	6,107	2,107	2,507	793,78	0,036

* Emissões referentes ao ano 2008 no Concelho de Bragança (APA, 2010)

6. AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DE REDUÇÃO DE EMISSÕES

6.1 CENÁRIOS DE ESTUDO

As alterações políticas e avanços tecnológicos impulsionam novos desafios e a necessidade de novos estudos. Neste contexto surge a necessidade de criar cenários. O estudo de cenários é um importante meio para avaliar os riscos e oportunidades, uma vez que permitem idealizar uma realidade diferente a partir da análise da situação presente e recorrendo a parâmetros possíveis de construir um ambiente distinto. Estes estudos são úteis, permitem antever situações ou apoiar e incentivar a tomada de novas decisões.

No desenvolvimento do estudo apresentam-se dois cenários que visam a redução das emissões, porém não passam de cenários estritamente académicos uma vez que a sua implementação não é de fácil execução nem economicamente viável.

Alteração dos equipamentos de combustão para equipamentos de tecnologia moderna

Apresentando um cenário onde todos os equipamentos utilizados na cidade seriam substituídos por lareiras com tecnologia avançada (fatores de emissão em Anexo IV), sendo queimadas as mesmas quantidades de biomassa lenhosa, verificam-se em quase todos os poluentes atmosféricos uma diminuição de emissões, em alguns casos há um ligeiro aumento, como o CO, que se deve sobretudo ao facto de estes equipamentos possibilitarem uma menor presença de oxigénio. As emissões de COV, PAH e CO₂ registam reduções superiores a 90% (Tabela 40).

Tabela 40: Cenário de redução de emissões de CO, PM₁₀, PM_{2,5}, COV, PAH, CO₂, CH₄ e N₂O recorrendo à utilização exclusiva de equipamentos de tecnologia moderna na cidade de Bragança

Cenários	Poluentes Atmosféricos (Ton/ano)							
	CO	PM ₁₀	PM _{2,5}	COV	PAH	CO ₂	CH ₄	N ₂ O
Situação Atual	1055,96	69,92	68,19	202,67	1,35	26345,64	83,20	1,19
Cenário Estudo	1223,28	65,24	65,24	0,12	0,08	0,04	81,55	1,17
Redução	-167,32	4,68	2,95	202,55	1,27	26345,59	1,64	0,02
Taxa de Redução	-15,6%	6,7%	4,3%	99,9%	94,2%	100 %	1,98%	1,98%

Este cenário não passa de uma situação apenas académica. Na realidade a realização do mesmo seria impraticável, devido não só aos custos que implicaria a cada consumidor mas também à disponibilidade dos mesmos para esta alteração.

Combustão de espécies florestais menos poluentes

Idealizando um cenário onde num ano são consumidas 4 toneladas de cada uma das cinco espécies florestais (carvalho negro, freixo, castanheiro, oliveira e pinheiro) em três equipamentos de combustão (lareira aberta, lareira fechada, estufa/salamandra). No cálculo de emissões utilizou os valores de fator de emissão mais frequentes (Tabela 14 e 15) e os valores de PCI (Tabela 13).

Nos resultados finais, verifica-se que o castanheiro é a espécie florestal que menos emissões liberta durante a combustão, já as espécies florestais que mais emitem são o freixo e oliveira (Figura 22).

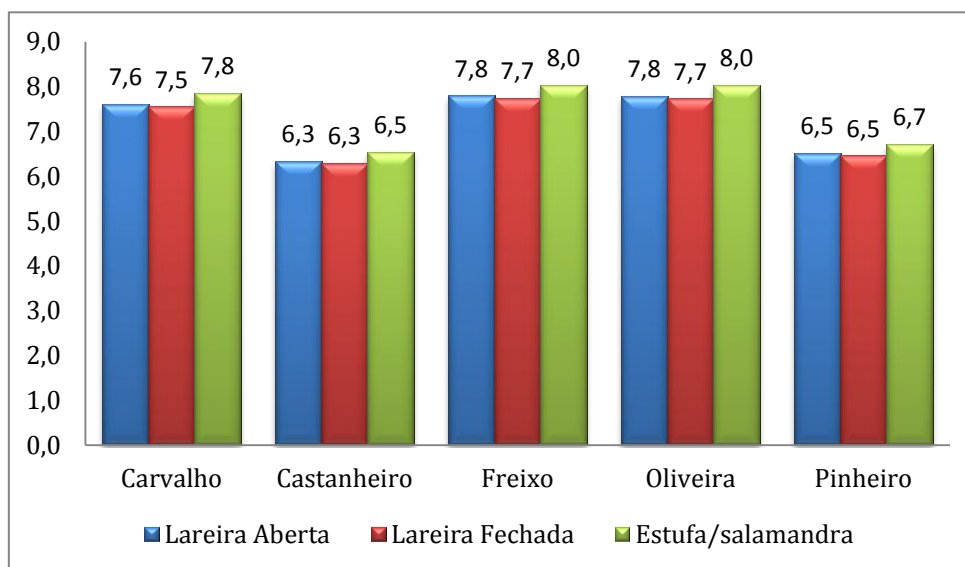


Figura 22: Cenário de emissão total de poluentes atmosféricos por espécie florestal na residencial (Ton/ano)

A análise de emissões por poluentes permite averiguar que no caso das emissões de PM₁₀, PM_{2,5} CO e COV, o castanheiro é claramente a espécie que menos emite. No caso dos GEE (CO₂, CH₄ e N₂O) registam-se diferenças de emissões de aproximadamente 1,3 toneladas por ano, da utilização de castanheiro para a utilização de freixo ou oliveira (Figura 23).

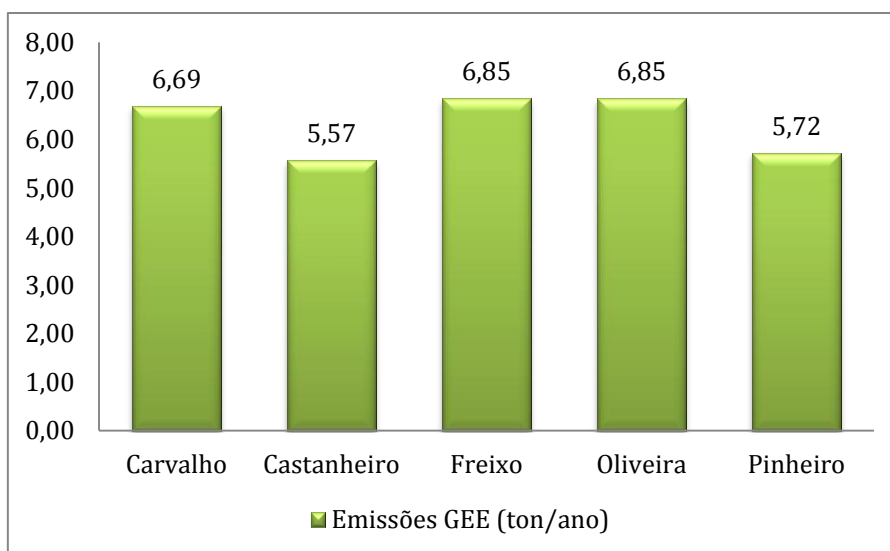


Figura 23: Cenário de emissões de GEE por espécie florestal (Ton/ano)

Com base na informação obtida, adaptando à realidade da cidade de Bragança, se as 3795 famílias que queimam anualmente 16458 toneladas de lenha, passassem a queimar apenas lenha de castanheiro nos vários equipamentos em uso, distribuído do seguinte modo: lareira aberta: 4250 Ton/ano; lareira fechada: 11213 Ton/ano; estufa/salamandra: 995 Ton/ano, não se considerado o consumo de pellets e briquetes. Verificar-se-ia redução de emissão em todos os poluentes registando-se uma redução anual aproximadamente 13,8%, a maior redução verifica-se no CO, cerca de 14% (Tabela 41).

Tabela 41: Cenário de redução de emissões recorrendo à combustão exclusiva de lenha de castanheiro na cidade de Bragança

Emissões (Ton/ano)	SOx	NOx	PM ₁₀	PM _{2,5}	CO	COV	PAH	CO ₂	CH ₄	N ₂ O
Situação Atual	2,77	13,87	69,92	68,19	1055,96	202,67	1,35	26345,64	83,20	1,19
Cenário Estudo	2,41	12,03	61,13	59,59	909,28	176,94	1,21	22850,70	72,16	1,03
Taxa de redução	13,0%	13,3%	12,6%	12,6%	13,9%	12,7%	10,4%	13,3%	13,3%	13,5%

Também este cenário de estudo seria dificilmente adaptado à realidade, até porque o consumo exclusivo de castanheiros não seria viável para a espécie.

6.2 ESTRATÉGIA DE REDUÇÃO DE EMISSÕES

Para redução de emissões atmosféricas provenientes da combustão residencial de biomassa lenhosa é importante implementar medidas ao nível do queimador, combustível e práticas de queima para tornar a combustão mais eficiente e menos poluidora.

Num estudo de Karvosenoja *et al.* (2004), são descritas, sumariamente, três medidas utilizadas para reduzir a emissões e taxa de eficiência: 1. Instalação de um tanque acumulador em caldeiras que não o tenham, permite uma eficiência de redução de 70%, é uma medida com grande potencial, contudo as dimensões da divisão poderão restringir a aplicabilidade; 2. Substituição de queimadores de lenha por queimadores de pellets, permitem menores emissões e melhoria na eficiência de produção de calor entre 50 a 90%, os pellets já são relativamente comuns e acessíveis na maioria dos países europeus; 3. Utilização de catalisadores e/ou camara de combustão secundária, permitem uma eficiência de 30%, são medidas aplicadas na grande maioria nos EUA.

Uma forma rápida de minimizar o problema seria o apoio e estímulo da população à substituição de queimadores antigos por queimadores certificados e ainda incentivos para melhorar a eficiência térmica das habitações de modo a reduzir a necessidade de aquecimento (vidros duplos). É igualmente necessário sensibilizar a população para práticas simples como:

- Queima exclusiva de biomassa lenhosa limpa, em vez de lixo doméstico (plástico, matéria orgânica, madeira envernizada e tratada, etc.);
- Usar sempre lenha seca, deve ter menos do que 20% em peso de humidade, para tal convém armazenar a lenha num local bem ventilado;
- Não encher o equipamento, deverá haver espaço na parte superior da carga para permitir a emissão dos gases da queima;
- Manter o equipamento em boas condições de funcionamento, fazendo uma limpeza anual (queimador e chaminé).

É importante tanto município como as populações fiquem alerta para os riscos da combustão residencial de biomassa lenhosa. As vantagens embora sejam atractivas, importa conhecer as consequências tanto no meio ambiente como na saúde humana.

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os consumos energéticos na cidade de Bragança, tal como no panorama geral do país modificaram consideravelmente nos últimos anos, verifica-se a eletrificação das residências, o aumento do consumo de gás natural e no caso da lenha, embora continue a ser o recurso mais utilizado para aquecimento, tem apresentado diminuição do consumo nos últimos anos.

Na cidade de Bragança estima-se que no decorrer do ano se utilizou 573594 GJ de energia final apenas no setor residencial. Esta análise de consumos energéticos encontra-se sujeita a variações ao longo dos meses (condições atmosféricas e disponibilidade de recursos). Os meses mais frios apresentam consumos mais elevados de eletricidade, gás natural, gás garrafa, gasóleo e biomassa lenhosa, devido essencialmente ao aquecimento do ar ambiente e à demora do aquecimento de águas sanitárias. Nos meses mais quentes do ano, verifica-se uma redução considerável de alguns recursos e ainda em alternativa um aumento da utilização de energias renováveis para o aquecimento de águas sanitárias, através da energia solar.

O uso de energia nos alojamentos distribui-se essencialmente para cozinhar, aquecimento do ar ambiente, aquecimento de águas sanitárias, iluminação e equipamentos. Na componente de aquecimento a biomassa lenhosa apresenta um peso muito significativo no consumo energético dos cidadãos brigantinos, com 43% dos lares a utilizarem equipamentos de combustão. Contudo, os sistemas revelam eficiências muito baixas, com perdas substanciais de calor e emissão de poluentes para a atmosfera.

A contribuição da combustão doméstica de biomassa lenhosa para as emissões de poluentes atmosféricos em Bragança não é precisa, devido a todas as incertezas associadas, desde os valores de poder calorífico até mesmo à precisão no consumo anual e ainda os valores de fatores de emissão. Os fatores de emissão têm um papel fundamental na determinação de valores de emissão contudo é escassa a informação disponível para os vários tipos de equipamentos utilizados em Portugal. Na pesquisa bibliográfica encontram-se valores bastantes distintos entre tecnologias idênticas, em alguns casos valores que variam entre dezenas e centenas para o mesmo poluente, apresentados em (g/GJ) podendo ser igualmente apresentados em função do tempo (kg/h) e em massa por massa (g/Ton).

Apesar das incertezas que estão associadas, verifica-se que a combustão residencial de biomassa lenhosa afeta significativamente a qualidade do ar em Bragança, em especial, através da emissão de CO, COV, PM₁₀ e PM_{2,5}. As lareiras fechadas são a principal fonte de emissão devido à maior taxa de utilização que apresentam, as estufas de pellets e caldeiras domésticas apresentam uma influência desprezável sobre as emissões.

A uma escala regional, a combustão de biomassa lenhosa no setor residencial é claramente uma das melhores opções de aquecimento, uma vez que se utiliza um recurso renovável, disponível, prático, baixo custo e com emissões de CO₂ consideradas nulas (fotossíntese). Contudo, as restantes emissões libertadas no decorrer da combustão não são de menosprezar, uma vez que estas influenciam claramente a qualidade do ar ambiente.

A realização de estudos envolvendo a aplicação de inquéritos permite de uma forma eficiente recolher informação específica e detalhada de uma população possibilitando a investigação e melhor compreensão das características do comportamento, hábitos e costumes. Muito embora a elaboração destes estudos apresente incertezas associadas, devido não só à grande dificuldade de elaboração dos mesmos e análise estatística, mas também pelo facto de estarem diretamente relacionado com a disponibilidade e interesse dos inquiridos em participar, são ferramentas essenciais e fundamentais na melhoria do conhecimento local. Neste estudo específico a realização de inquéritos a uma área e a população mais reduzida, permitem aperfeiçoar as estatísticas em relação ao consumo de lenha possibilitando a melhoria dos inventários nacionais de emissões no setor.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AFN, 2010. *Inventário florestal nacional: Portugalcontinental: IFN 5, 2005-2006*. Autoridade Florestal Nacional, Lisboa.

Alves C., Gonçalves C., Fernandes A. P., Tarelho L., Pio P., 2011. *Fireplace and woodstove fine particle emissions from combustion of western Mediterranean wood types*. Atmospheric Research 101, 692-700.

APA, 2008. *Portuguese National Inventory Report on Greenhouse gases, 1990-2006*. Agência Portuguesa do Ambiente.

APA, 2010. *Emissões de Poluentes Atmosféricos por Concelho 2008: gases acidificantes e eutrofizantes, precursores de ozono, partículas, metais pesados, gases com efeito de estufa*. Agência Portuguesa do Ambiente.

APA, 2011. *Emissões de Poluentes Atmosféricos por Concelho 2009: gases acidificantes e eutrofizantes, precursores de ozono, partículas, metais pesados, gases com efeito de estufa*. Agência Portuguesa do Ambiente.

APA, 2012. *Portuguese Informative Inventory Report 1990 – 2010*. Agência Portuguesa do Ambiente

Arbex M., Cançado J., Pereira, L., Braga, a., Saldiva, P., 2004. *Queima de biomassa e efeitos sobre a saúde*. Jornal Brasileiro de Pneumologia, 30 (2):158-175.

Azevedo J. C., Castro J. P., Tarelho L., Escaldante E., Feliciano M., 2011. *Avaliação do potencial de produção e utilização sustentável de biomassa para energia no distrito de Bragança*. In Atas do 17º Congresso da APDR.

Bari M. A., Baumbach G., Kuch B., Scheffknecht G., 2010. *Temporal variation and impact of wood smoke pollution on a residential area in southern Germany*. Atmospheric Environment, 44, 3823-3832.

Bari M. A., Baumbach G., Kuch B., Scheffknecht G., 2008. *Wood smoke as a source of particle-phase organic compounds in residential areas*. Atmospheric Environment, 43, 4722-4732.

Barrett P., 2009. *Wood Burning Literature Review*. Canadá.

- Basur S. V., 2002. *Air Pollution from wood-burning fireplaces and stove*. Medical Officer of Health.
- Boman B. C., Forsberg A. B., Järholm B. G., 2003. *Adverse health effects from ambient air pollution in relation to residential wood combustion in modern society*. Scand. J. Work. Environ. Health, 29(4): 251-260.
- Boman C., 2005. *Particulate and gaseous emissions from residential biomass combustion*. Tese de Doutorado, University Umeå, Suécia.
- Borrego C., Miranda A. I., Martins H., Ferreira J., Sousa S., Calado D., Sá M. E., 2007. *Plano de melhoria da qualidade do ar na região Norte PM10 2004 O3 2004/2005*. Comissão de Coordenação e Desenvolvimento da Região Norte e Universidade de Aveiro.
- Borrego C., Miranda A. I., Monteiro A., Techepel O., Martins H., Tavares R., Gonçalves L., Barbedo P., 2008. *Inventário das emissões de poluentes atmosféricos na região Norte (R3)*. Departamento de Ambiente e Ordenamento da Universidade de Aveiro, pp: 53-60.
- Borrego C., Valente J., Carvalho A., Sá E., Lopes M., Miranda A.I., 2010. *Contribution of residential wood combustion to PM10 levels in Portugal*. Atmospheric Environment 44, 642–651.
- Broderick D. R., Houck J. E., 2003. *Emissions Inventory Improvement Program (EIIP): Residential Wood Combustion*. Coordination Project. Mid-Atlantic Regional Air Management Association.
- Burnet P., Edmisten N., Tiegs P., Houck J., Yoder R., 1986. *Particulate, carbon monoxide, and acid emission factors for residential wood burning stoves*. Journal of the Air Pollution Control Association 36(9), 1012–1018.
- Carvalho A., Gonçalves A., 2008. *Espaços Verdes Bragança*. Câmara Municipal de Bragança.
- Caseiro A., Bauer H., Schmidl C., Pio C. A., Punxbaum H., 2009. *Wood burning impact PM10 in three Austrian Regions*. Atmospheric Environment, 43, 2186-2195.
- Caserini S., Marazzi L., Crovetto G. M., Denti A. B., Lapi M., Bosco C., Fraccoroli A., Fossati G., Guariso G., Guerrieri G. L., 2007, *An extensive survey on wood use for domestic heating in Lombardy: implication for PM emission inventory*. Dipartimento di Ingegneria Idraulica Ambientale. Fondazione Lombardia per l'Ambiente, Lombardia.

- Chen L.W.A., Moosmüller H., Arnott W.P., Chow J.C., Watson J.G., Susott R.A., Babbitt R.E., Wold C.E., Lincoln E.N., Wao W.M., 2007. *Emissions from laboratory combustion of wildland fuels: Emission factors and source profiles*. Environmental Science and Technology 41, 4317–4325.
- CITEPA, 2003. *Wood Combustion in Domestic Appliances*. Synopsis sheet wood domestic appliances.
- Cohen L., Manion L., Morrison K., 2010. *Research Methods in Education*. Routledge, London and New York, sixth ed, pp 104.
- Costa M., 2009. *Mecanismos de formação e métodos de controlo de emissão de óxidos de azoto em sistemas de combustão*. III MEFTE, Bragança. Instituto Superior de Técnico.
- DGEG, 2011. *Inquérito ao consumo de energia no setor doméstico*, ICESD. Direção Geral de Energia e Geologia.
- Dias J. J. M., 2002. *Utilização da biomassa: avaliação dos resíduos e utilização de pellets em caldeiras domésticas*. Tese de Mestrado. Instituto Superior Técnico, Lisboa.
- DSEWPC, 2002. *Review of literature on residential firewood use, wood-smoke and air toxics*. Technical Report No. 4, ISBN 0 6425 4868 4. Australia Government, Department of Sustainability, Environment, Water, Population and Communities.
- EEA, 2002. *Emission Inventory Guidebook*. EMEP/CORINAIR, 3ª Edição. European Environment Agency.
- EEA, 2009a. *EMEP/CORINAIR Emission Inventory Guidebook*. European Environment Agency, Technical report No 9/2009.
- EEA, 2009b. *1.A.4 Small combustion installations. Residential 1A4bi*. European Environment Agency, EMEP/EEA emission inventory guidebook 2009.
- EEA, 2012. *European Union emission inventory report 1990–2010 under the UNECE Convention on Long-range Transboundary Air Pollution (LRTAP)*. European Environment Agency, Technical report No 8/2012.
- EPA, 1998. *Compilation of Air Pollutant Emission Factors, Section 7.1, Residential Wood Combustion*. fifth edition, AP-42. Environmental Protection Agency. Office of Air Quality Planning and Standards, U.S, Research Triangle Park.

- EPA, 2001. *Emission Inventory Improvement Program, EIIP: Residential Wood Combustion*. Volume III, Capítulo 2, United States Environmental Protection Agency.
- EPA, 2012. *List of EPA Certified Wood Stoves*. US Environmental Protection Agency.
- ESA, 2012. Escola Superior Agrária de Bragança. *Dados meteorológicos*. [Consult. 27/Outubro/2012]. Web Site: <http://esa.ipb.pt/clima.php?clima=historico1ano>.
- Euroventil, aquecimento e ventilação, Lda. [Consult. 07/Junho/2012]. Web Site: www.euroventil.pt.
- Feliciano M., 2009. *Qualidade do ar e ruído na cidade de Bragança. Relatório do Plano Verde da Cidade de Bragança*. Instituto Politécnico de Bragança.
- Ferek R.J., Reid J.S., Hobbs P.V., Blake D.R., Liousse C., 1998. *Emission factors of hydrocarbons, trace gases and particles from biomass burning in Brazil*. Journal of Geophysical Research 103, 32107-32118.
- Ferreira H., Macedo M., Matos P., 2009. *Matriz Energética do Nordeste Transmontano: uma ferramenta contra as alterações climáticas*. Resíduos do Nordeste.
- Fine P.M., Cass G.R., Simoneit B.R.T., 2001. *Chemical characterization of fine particle emissions from fireplace combustion of woods grown in the northeastern United States*. Environmental Science and Technology, 35, 2665-2675.
- Fine P.M., Cass G.R., Simoneit B.R.T., 2002. *Chemical characterization of fine particle emissions from fireplace combustion of woods grown in the Southern United States*. Environmental Science and Technology, 36, 1442-1451.
- Fine P.M., Cass G.R., Simoneit B.R.T., 2004. *Chemical characterization of fine particle emissions from the wood stove combustion of prevalent United States tree species*. Environmental Science and Technology, Volume 21, Nº 6.
- Fischer G., Schrattenholzer L., 2001. *Global bioenergy potentials through 2050*. Biomass Bioenergy, 20(3):151-159.
- Freitas M. R., 2007. *Avaliação do potencial energético dos resíduos sólidos dos lagares do Alentejo*. Tese de Mestrado. Universidade Técnica de Lisboa – Instituto Superior de Agronomia, pp. 11.

- Foster P., Garman G., 2011. *Heating With Wood: Using wood to heat your Northern Minnesota home*. Dovetail Partners
- Garcia, D., 2010. *Caraterização química, física e térmica de pellets de madeira produzidos no Brasil*. Tese de mestrado. Guaratinguetá, Brasil.
- Germain A., 2005. *Impact of Residential wood stove replacement on air emissions in Canada*, Environment Canada.
- Glasius M., Ketzler M., Wåhlin P., Jensen B., Berkowicz R., Palmgren F., 2006. *Impact of wood combustion on particle levels in a residential area in Denmark*. Atmospheric Environment, 40, 7115-7124.
- Gomes J., 2010. *Poluição Atmosférica: Um Manual Universitário*. 2ª edição, Publindústria, Edições Técnicas, Lda.
- Gomes L. F. P., 2011. *Emissão de aldeídos durante a combustão doméstica de biomassa*. Tese Mestrado. Universidade de Aveiro.
- Gonçalves C., Alves C., Pio C., 2012. *Inventory of fine particulate organic compound emissions from residential wood combustion in Portugal*. Atmospheric Environment, 50, 297-306.
- Gonçalves C., Alves C., Evtyugina M., Mirante F., Pio C., Alexandre A., Schmidl C., Bauer H., Carvalho F., 2010. *Characterization of PM10 emissions from woodstove combustion of common woods grown in Portugal*. Atmospheric Environment, 44, 4474-4480.
- Gonçalves C., Alves C., Fernandes A.P., Monteiro C., Tarelho L., Evtyugina M., Pio C., 2011. *Organic compounds in PM2.5 emitted from fireplace and woodstove combustion of typical Portuguese wood species*. Atmospheric Environment 45, 4533-4545.
- Gonçalves, C., 2011. *Contribution of biomass combustion to air pollutant emissions*. Tese de Doutoramento. Universidade de Aveiro.
- Gonçalves J. E., Sartori M. M. P., Leão A. L., 2009. *Energia de briquetes produzidos com rejeitos de resíduos sólidos urbanos e madeira de Eucalyptus grandis*. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Sept./Oct. vol. 13, nº5.
- Gonçalves L. P., 2008. *Impacto da Combustão Doméstica na Qualidade do Ar*. Tese de Mestrado. Universidade de Aveiro.

- Green Value, 2012. *Plano de Ação para a Energia Sustentável*. Câmara Municipal de Bragança
- Gulland J., 2003. *Residential Wood Combustion, Overview of Appliance Categories*.
- Gullett B.K., Touati A., Hays M.D., 2003. *PCDD/F, PCB, HxCBz, PAH, and PM Emission Factors for Fireplace and Woodstove Combustion in the San Francisco Bay Region*. *Environmental Science and Technology* 37, 1758–1765.
- Henriques S. S. T., 2006. *Os consumos domésticos de energia em Portugal*. Tese de Mestrado. Universidade Técnica de Lisboa.
- Holden S., Sullivan A. P., Munchak L. A., Kreidenweis S. M., Schichtel B. A., Malm W. C., Collet J. L., 2011. *Determining contributions of biomass burning and other sources to fine particle contemporary carbon in the western United States*. *Atmospheric Environment*, 45, 1986-1993.
- Honicky R., Osborne J., Akpom C., 1985. *Symptoms of respiratory illness in young children and the use of wood-burning stoves for indoor heating*. *Pediatrics* 75(3), 587–593
- Houck J. E., Tiegs P. E., 1998. *Residential Wood Combustion: Technology Review*. Technical Report, Volume 1. U.S. Environmental Protection Agency Office of Research and Development.
- Houck J., s/data. *Air Emissions from Residential Wood Combustion*. OMNI Environmental Services, Inc.
- IEA, 2006. *Energy for cooking in Developing Countries*. International Energy Agency, World Energy Outlook, Capítulo 15, pp. 419 a 445.
- ICNF, *Instituto de Conservação da Natureza e das Florestas – 5º Inventário Florestal Nacional*. [Consulta: 26 Outubro 2012]. Web Site: <http://www.icnf.pt/portal/florestas/ifn>
- Illerup J. B., Nielsen M., 2004. *Improved PM emission inventory for residential wood combustion*. National Environmental Research Institut.
- IM (s/data). Instituto de Meteorologia. *Ficha Climatológica 1971-2000: Bragança (575)*. Ministério da Ciência, Tecnologia e Ensino Superior. Lisboa.
- INE, 2001. *Censos 2001*. [Consulta: 1 Outubro 2012]. Web Site: www.ine.pt

- INE, 2011a. *Censos 2011: resultados provisórios*. [Consult: 10 Outubro 2012] Web Site: http://censos.ine.pt/xportal/xmain?xpid=CENSOS&xpgid=censos2011_apresentacao
- INE, 2011b. *Estatísticas do Ambiente 2010*. Instituto Nacional de Estatísticas, pp. 37-58.
- Johannson L. S., Leckner B., Gustavsson L., Cooper D., Tullin C., Potter A., 2004. *Emission characteristics of modern and old-type residential boilers fired with wood logs and wood pellets*. Atmospheric Environment, 38, 4183-4195.
- Jokiniemi, J., Hytönen, K., Tissari, J., Obernberger, I., Brunner, T., Bärnthaler, G., Friesenbichler, J., Salonen, R.O., Hirvonen, M.R., Jalava, P., Pennanen, A., Happonen, M., Vallius, M., Markkanen, P., Hartmann, H., Turwoski, P., Rossmann, P., Ellner-Schubert, T., Boman, C., Petterson, E., Wiinikka, H., Hillamo, R., Saarino, K., Frey, A., Saarikoski, S., Timonen, H., Teinilä, K., Aurela, M., Sillanpää, M., Bellmann, B., Sandström, T., Sehlstedt, M., Forsberg, B., 2008. *Biomass combustion in residential heating: particulate measurements, sampling, and physicochemical and toxicological characterisation*. University of Kuopio. Finlândia.
- Kakareka S., Kukharchyk T., Khomich V., 2004. *Research for HCB and PCB Emission Inventory Improvement in the CIS Countries (on an Example of Belarus) / Belarusian Contribution to EMEP*. Annual Report. Minsk.
- Karvosenoja N., Johansson M., Kindbom K., Lukewille A., Jensen D., Sternhufvud C., Illerup J. B., 2004. *Fine particulate matter emissions from residential wood combustion and reduction potential in the Nordic countries*. Finnish Environment Institute. Finlândia.
- Karvosenoja N., Tainio M., Kupiainen K., Tuomisto J.T., Kukkonen J., Johansson M., 2008. *Evaluation of the emissions and uncertainties of PM_{2.5} originated from vehicular traffic and domestic wood combustion in Finland*. Boreal Environment Research 13, 465-474.
- Kowalczyk J., Bosserman P., Tomblason B., 1981. *Particulate Emissions from New Low Emission Wood Stove Designs Measured by EPA Method V*. Oregon Department of Environmental Quality, Portland, Oregon, USA.
- Krecl P., 2008. *Impact of residential wood combustion on urban air quality*. Tese Doutorado. Stockholm University.

- Larson T., Koenig, J., 1994. *Wood smoke: emissions and noncancer respiratory effects*. Annual Review of Public Health 15: 133–156
- Lee S., Baumann K., Sheesley R.J., Naeher L.P., Meinardi S., Blake D.R., Edgerton E.S., Russell A.G., Clements M., 2005. *Gaseous and particulate emissions from prescribed burning in Georgia*. Environmental Science and Technology 39, 949–956.
- Mateus T., 2006. *O potencial energético da floresta portuguesa: análise do potencial energético disponível para as centrais termoelétricas a biomassa florestal lançadas a concurso*. Tese de Mestrado. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.
- Matias C., 2010. *Culturas bioenergéticas*. Tese de Mestrado. Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, Vila Real.
- McDonald J.D., Zielinska B., Fujita E.M., Sagebiel J.C., Chow J.C., Watson J.G., 2000. *Fine particle and gaseous emission rates from residential wood combustion*. Environmental Science and Technology 34, 2080–2091.
- NIR, 2011. *Residential wood-burning emissions in Columbia*. National Inventory Report. British Columbia.
- Nussbaumer T., Klippel N., Johansson L., 2008. *Survey on measurements and emission factors on particulate matter from biomass combustion in IEA countries*. 16th European Biomass Conference and Exhibition, Valencia, Spain.
- Peach E. H., Cordova R., 1993. *Emission Factor Documentation For AP-42 Section 1.9. Residential Fireplaces*. Office of Air Quality Planning and Standards Office of Air And Radiation, U.S. Environmental Protection Agency.
- Pettersson E., Boman C., Westerholm R., Boström D., Nordin A., 2011. *Stove performance and emission characteristics in residential wood log and pellet combustion, Part 2: Woodstove*. Energy & Fuel 25, 315–323.
- Pinheiro G., Rendeiro G., Pinho G., 2005. *Densidade energética de resíduos florestais*. Biomassa & Energia, v. 2, n. 2, p. 113 – 123.
- Purvis C.R., McCrillis R.C., Kariher P.H., 2000. *Fine particulate matter (PM) and organic speciation of fireplace emissions*. Environmental Science and Technology 34, 1653–1658.

- QualAr – Base de Dados On-line sobre Qualidade do Ar. Agência Portuguesa do Ambiente. [Consult: 1/Outubro/2012]. Web Site: <http://www.qualar.org>
- Quirino W. F., Vale A. T., Andrade A. P. A., Abreu V. L. S., Azevedo A. C. S., 2005. *Poder calorífico da madeira e de materiais Lignocelulósicos*. Revista da Madeira nº 89, pp. 100-106.
- Rakos C., 2007. *Technology development of boilers for domestic heating with wood fuels; implications for dust emissions and their toxicological relevance*. proPellets, Áustria.
- Reid J. S., Koppmann R., Eck T. F., Eleuterio D. P., 2004. *A review of biomass burning emissions, part II: Intensive physical properties of biomass burning particules*. Atmos. Chem. Phys. Discuss. 44, 5135-5200.
- Rodero, P., Mira, A., 2012. *Handbook for the quality labe of domestic solid biofuls*. Avebiom.
- Sandoval J., Salas J., Martinez-Guerra M.L., Gomez A., Martinez C., Portales A., Palomar A., Villegas M., Barrios R., 1993. *Pulmonary arterial hypertension and cor pulmonale associated with chronic domestic woodsmoke inhalation*. Chest 103(1), 13–19.
- Santos C., 2010. *Avaliação do Potencial de Biomassa AMCB*. Seminário Energia RETALER.
- Schauer J., Kleeman M., Cass G., Simoneit B., 2001. *Measurement of emissions from air pollution sources 3. C1-C29 organic compounds from fireplace combustion of wood*. Environmental, Science and Technology, 35, pp. 1716–1728.
- Schmidl C., Marr I. L., Caseiro A., Kotianová P., Berner A., Bauer H., Kasper-Giebl A., Puxbaum H., 2008. *Chemical characterisation of fine particle emissions from wood stove combustion of common woods growing in mid-European Alpine regions*. Atmospheric Environment, 42, 126-141.
- Silva, M., 2010. *Apontamentos de tecnologia dos produtos florestais: composição química da madeira*. UTAD, Vila Real.
- Sítio das lareiras*. [Consult. 7/Junho/2012]. Web Site: <http://www.sitiodaslareiras.com/>
- Sousa S. G., 2007. *Plano de melhoria da qualidade do ar da região Norte*. Tese de Mestrado. Universidade de Aveiro.

- Sternhufvud C., Karvosenoja N., Illerup J., Kindbom K., Lükewille A., Johansson M., Jensen D., 2004. *Particulate matter emissions and abatement options in residential wood burning in the Nordic countries*. Norden.
- Stubkjaer J. F., Wåhlin P., Olesen H. R., Ketzler M., Bossi R., Palmgreen F., Hertel O., Glasius M., 2007. *Air pollutin from domestic wood combustion*. National Environmental Research Institute.
- Tissari J., 2008. *Fine particle emissions from residential wood combustion*. Tese de Doutoramento. University of Kuopio.
- Tonnoka Y., Liu J., Kondou Y., Ning Y., Fukasawa O., 2006. *A survey on energy consumption in rural households in the fringes of Xian city*. Energy and Building, 38, 1335-1342.
- Torres-Duque C., Maldonado D., Pérez-Padilla R., Ezzati M., Viegi G., 2008. *Biomass fuels and respiratory diseases: a review of the evidence*. Proc. Am. Thorac. Soc., 5:577–590.
- Trozzi C., 2009. *Small Combustion*. EEA, Emission Inventory Guidebook.
- Wakelin T., 2008. *Emissions from wood-fired combustion equipment*. Ministry of Environment. British Columbia.
- Wardoyo A.Y.P., Morawska L., Ristovski Z., Marsh J., 2006. *Quantification of particle number and mass emission fators from combustion of Queensland trees*. Environmental Science and Technology 40, 5696–5703.
- WLAP, 2005. *Residential wood-burnig in British Columbia*. British Columbia. Ministry of Water, Land and Air Protection.
- WHO, 2006. *The World Health Report 2006 - working together for health*. World Health Organization.
- Williams A., Jones J.M., Ma L., Pourkashanian M., 2012. *Pollutants from the combustion of solid biomass fuels*. Prog. Energy Combust. Sci., 38:113-137.

ANEXOS

ANEXO I: ANÁLISE DE SIGNIFICÂNCIA ESTATÍSTICA

Nível de confiança do tamanho da amostra e intervalo de confiança para amostras aleatórias, Cohen *et al.* (2010) em *Research methods in education*, pag. 104.

Population	Confidence level 90 per cent			Confidence level 95 per cent			Confidence level 99 per cent		
	Confidence	Confidence	Confidence	Confidence	Confidence	Confidence	Confidence	Confidence	Confidence
30	27	28	29	28	29	29	29	29	30
50	42	45	47	44	46	48	46	48	49
75	59	64	68	63	67	70	67	70	72
100	73	81	88	79	86	91	87	91	95
120	83	94	104	91	100	108	102	108	113
150	97	111	125	108	120	132	122	131	139
200	115	136	158	132	150	168	154	168	180
250	130	157	188	151	176	203	182	201	220
300	143	176	215	168	200	234	207	233	258
350	153	192	239	183	221	264	229	262	294
400	162	206	262	196	240	291	250	289	329
450	170	219	282	207	257	317	268	314	362
500	176	230	301	217	273	340	285	337	393
600	187	249	335	234	300	384	315	380	453
650	192	257	350	241	312	404	328	400	481
700	196	265	364	248	323	423	341	418	507
800	203	278	389	260	343	457	363	452	558
900	209	289	411	269	360	468	382	482	605
1,000	214	298	431	278	375	516	399	509	648
1,100	218	307	448	285	388	542	414	534	689
1,200	222	314	464	291	400	565	427	556	727
1,300	225	321	478	297	411	586	439	577	762
1,400	228	326	491	301	420	606	450	596	796
1,500	230	331	503	306	429	624	460	613	827
2,000	240	351	549	322	462	696	498	683	959
2,500	246	364	581	333	484	749	524	733	1,061
3,000	248	392	657	357	536	879	586	859	1,347
7,500	263	403	687	365	556	934	610	911	1,480
10,000	265	408	703	370	566	964	622	939	1,556
20,000	269	417	729	377	583	1,013	642	986	1,688
30,000	270	419	738	379	588	1,030	649	1,002	1,737
40,000	270	421	742	381	591	1,039	653	1,011	1,762
50,000	271	422	745	381	593	1,045	655	1,016	1,778
100,000	272	424	751	383	597	1,056	659	1,026	1,810
150,000	272	424	752	383	598	1,060	661	1,030	1,821
200,000	272	424	753	383	598	1,061	661	1,031	1,826
250,000	272	425	754	384	599	1,063	662	1,033	1,830
500,000	272	425	755	384	600	1,065	663	1,035	1,837
1,000,000	272	425	756	384	600	1,066	663	1,036	1,840

ANEXO II: INQUÉRITO

O presente inquérito tem por objetivo recolher informação relativa ao consumo de lenha no setor doméstico da cidade de bragança. O inquérito insere-se no âmbito de uma tese de Mestrado em Tecnologia Ambiental, do Instituto Politécnico de Bragança, intitulada Consumo doméstico de biomassa lenhosa e emissões atmosféricas na cidade de Bragança. Os dados recolhidos destinam-se exclusivamente a este fim, sendo garantida a sua confidencialidade.

INQUÉRITO

I. DADOS PESSOAIS DO INQUIRIDO

1. Sexo: F M
2. Idade: _____
3. Habilitações académicas: _____

II. CARATERIZAÇÃO DA HABITAÇÃO ONDE RESIDE

1. Localização:
Rua _____ Lote__ Andar__ Freguesia _____
2. Tipo de Habitação:
Apartamento Moradia Geminada Moradia em Banda Moradia Isolada
3. Área útil total da habitação: _____ m² ;
4. Número de pisos da habitação: _____
5. Número de divisões da habitação:
Cozinhas _____ Salas _____ Quartos _____ Casas de Banho _____ Halls _____
Outras _____
6. Número de pessoas que residem habitualmente na habitação: _____
7. Número de fachadas da habitação: _____ Orientação da fachada principal: _____
- Orientação das restantes fachadas: Norte Sul Este Oeste
8. Ano de construção da habitação:
Antes de 1919 [1919 – 1945] [1946 – 1960] [1961 – 1970] [1971 – 1980]
[1981 – 1990] [1971 – 1980] [1981 – 1990] [1991 – 1995] [1996 – 1999]
[2000 – 2006] [2007 – 2011] Não sabe
9. Características das paredes exteriores da habitação:
9.1 Paredes simples Paredes duplas
9.2 Sem isolamento térmico Com isolamento térmico
10. Envidraçados exteriores (Vidros):
Simples Duplos caixilharia com corte térmico Duplos caixilharia sem corte térmico
11. Classe de eficiência energética da habitação: _____ Não tem/Não sabe
12. A habitação tem água canalizada? Sim Não
13. A habitação tem sistema de aquecimento central? Sim Tipologia: _____ Não

III. BIOMASSA LENHOSA E SISTEMAS DE PRODUÇÃO DE CALOR

1. Equipamento de Utilização de Biomassa para Produção de Calor.

Assinale com um x os quadrados que se aplicarem à sua situação.

Equipamento Existente	Função	Período de Funcionamento	Tipo de Biomassa	Quantidades (Ton/Ano) (Out 2010 – Out 2011)
Lareira Aberta	<input type="checkbox"/> Aq. Ar Amb. <input type="checkbox"/> Aq. Ág. San. <input type="checkbox"/> Cozinhar	Meses do Ano: J F M A M J J A S O N D Dias/Semana: FdS Du <1 1 2 3 4 5 6 7 Horas/Dia: <4 4-8 9-12 13-18 >18 Horas do Dia: 0-24 0-8 8-12 12-18 18-24	<input type="checkbox"/> L <input type="checkbox"/> B <input type="checkbox"/> P <input type="checkbox"/> O	<input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/>
Lareira com Recuperador Ar	<input type="checkbox"/> Aq. Ar Amb. <input type="checkbox"/> Aq. Ág. San. <input type="checkbox"/> Cozinhar	Meses do Ano: J F M A M J J A S O N D Dias/Semana: FdS Du <1 1 2 3 4 5 6 7 Horas/Dia: <4 4-8 9-12 13-18 >18 Horas do Dia: 0-24 0-8 8-12 12-18 18-24	<input type="checkbox"/> L <input type="checkbox"/> B <input type="checkbox"/> P <input type="checkbox"/> O	<input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/>
Lareira Recuperador de Água	<input type="checkbox"/> Aq. Ar Amb. <input type="checkbox"/> Aq. Ág. San. <input type="checkbox"/> Cozinhar	Meses do Ano: J F M A M J J A S O N D Dias/Semana: FdS Du <1 1 2 3 4 5 6 7 Horas/Dia: <4 4-8 9-12 13-18 >18 Horas do Dia: 0-24 0-8 8-12 12-18 18-24	<input type="checkbox"/> L <input type="checkbox"/> B <input type="checkbox"/> P <input type="checkbox"/> O	<input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/>
Salamandra / Estufa	<input type="checkbox"/> Aq. Ar Amb. <input type="checkbox"/> Aq. Ág. San. <input type="checkbox"/> Cozinhar	Meses do Ano: J F M A M J J A S O N D Dias/Semana: FdS Du <1 1 2 3 4 5 6 7 Horas/Dia: <4 4-8 9-12 13-18 >18 Horas do Dia: 0-24 0-8 8-12 12-18 18-24	<input type="checkbox"/> L <input type="checkbox"/> B <input type="checkbox"/> P <input type="checkbox"/> O	<input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/>
Fogão	<input type="checkbox"/> Aq. Ar Amb. <input type="checkbox"/> Aq. Ág. San. <input type="checkbox"/> Cozinhar	Meses do Ano: J F M A M J J A S O N D Dias/Semana: FdS Du <1 1 2 3 4 5 6 7 Horas/Dia: <4 4-8 9-12 13-18 >18 Horas do Dia: 0-24 0-8 8-12 12-18 18-24	<input type="checkbox"/> L <input type="checkbox"/> B <input type="checkbox"/> P <input type="checkbox"/> O	<input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/>
Caldeira	<input type="checkbox"/> Aq. Ar Amb. <input type="checkbox"/> Aq. Ág. San. <input type="checkbox"/> Cozinhar	Meses do Ano: J F M A M J J A S O N D Dias/Semana: FdS Du <1 1 2 3 4 5 6 7 Horas/Dia: <4 4-8 9-12 13-18 >18 Horas do Dia: 0-24 0-8 8-12 12-18 18-24	<input type="checkbox"/> L <input type="checkbox"/> B <input type="checkbox"/> P <input type="checkbox"/> O	<input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/>
Outro Qual? _____	<input type="checkbox"/> Aq. Ar Amb. <input type="checkbox"/> Aq. Ág. San. <input type="checkbox"/> Cozinhar	Meses do Ano: J F M A M J J A S O N D Dias/Semana: FdS Du <1 1 2 3 4 5 6 7 Horas/Dia: <4 4-8 9-12 13-18 >18 Horas do Dia: 0-24 0-8 8-12 12-18 18-24	<input type="checkbox"/> L <input type="checkbox"/> B <input type="checkbox"/> P <input type="checkbox"/> O	<input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/>

Conversor: 3,6 Ton = 1 reboque; 1,2 Ton = 1 palete = 80 sacos; 1 saco = 0,015 Ton

2. Se respondeu *lenha* no quadro anterior,

- Identifique os tipos de lenha mais utilizados, enumerando de 1 até 5 as opções indicadas (onde 1 é o mais e 5 o menos consumido).

Carvalho Castanheiro Pinheiro Azinheira Oliveira Freixo
 Cerejeira Sobreiro Eucalipto Arbustivas RFV Outras

RFV: Resíduos Florestais Variados

- Identifique a sua proveniência,

Proprietário Comprada Apanhada nas proximidades Outra

3. Faz a combustão de outros materiais? Sim Não

- Se *Sim* indique quais: Restos alimentares Papel Acendalhas Outro _____

- Com que frequência o faz? 25% 50% 75% 100%

IV. Outras Fontes de Energia Utilizadas na Habitação

1. Identificação de outros combustíveis, principais usos e período de funcionamento:

FONTE DE ENERGIA	PRINCIPAL UTILIZAÇÃO						PERÍODO DE UTILIZAÇÃO		
	Aquecimento		Cozinhar	Iluminação	Equipamentos	Outra	Ano	Semana	Dia
	Águas Sanitárias	Ar Ambiente					Nº Meses	Nº Dias	Nº horas
Eletricidade									
Gás Natural									
Gás Garrafa									
Gasóleo									
Carvão									
Outra: _____									

2. Indique os consumos para as fontes de energia identificadas no quadro anterior

2.1 Eletricidade

FONTE DE ENERGIA	PERÍODO FATURAÇÃO		CONSUMO (kWh)			CUSTO	
	Inicial	Final	Tarifa Simples	Tarifa Bi-horária	Tarifa Tri-horária	(€)	Uso Doméstico (%)
Eletricidade							

Valor aproximado em euros da despesa do último mês _____

2.2 Gás natural

FONTE DE ENERGIA	PERIODO FATURAÇÃO		CONSUMO (m3)		CUSTO (€)	
	Inicial	Final	m3	kWh	(€)	Uso Doméstico (%)
Gás Natural						

Valor aproximado em euros da despesa do último mês _____

2.3 Gás de Garrafa

Propano Garrafas/ano _____ Uso doméstico (%) _____

Capacidade da garrafa: < 5 kg 5 kg 11 kg 45kg

Butano Garrafas/ano _____ Uso doméstico (%) _____

Capacidade da garrafa: < 5 kg 5 kg 13 kg 55 kg

2.4 Gasóleo

Consumo de gasóleo por ano _____ m3; Uso doméstico (%) _____

2.5 Outras fontes

Consumo de _____ por ano _____ m3/kg/_____ Uso doméstico (%) _____

Consumo de _____ por ano _____ m3/kg/_____ Uso doméstico (%) _____

3 Tem por hábito utilizar Churrasqueira ou Grelhadores? Sim Não

- Se *Sim* indique com que frequência o faz: _____

- Indique qual o tipo de combustível utilizado: Lenha Carvão Outro _____

4 Se dispõe de sistemas de produção de **Energia renovável**:

4.1 Indique qual o tipo de equipamento utilizado:

Solar fotovoltaico Solar térmico Micro-gerador eólico Outro: _____

4.2 Potência instalada: _____ kW

4.3 Energia produzida: _____ kWh/mês; _____ kWh/ano

4.4 Vende energia eléctrica à rede pública? Sim Não

V. Questões Adicionais

1. A qualidade do ar ambiente é um tema do seu interesse? Sim Não

2. A qualidade do ar interior é também um tema do seu interesse? Sim Não

3. Algum dos residentes é fumador? Sim Quantos? _____ Não

4. Algum dos residentes sofre de doenças respiratórias? Sim Quantos? _____ Não

5. Considera a biomassa lenhosa uma escolha acertada para fonte de energia doméstica? Sim Não

6. Estaria disposto a investir num sistema energeticamente mais eficiente e com emissões mais baixas de poluentes atmosféricos? Sim Quanto (€)? _____ Não

Agradecemos a sua colaboração

Marta Catarina Ferreira

ANEXO III: VALORES DE PODER CALORÍFICO

Referências Bibliográficas consultadas:

- a Helena Lopes, 2010. Comunicação Pessoal.
- b Seminário de Energia, 2010
- c Matias, 2010
- d Mateus, 2006
- e Freitas, 2007
- f Gonçalves, 2008
- g Pinheiro *et al.*, 2005
- h Garcia, 2010
- i Gonçalves *et al.*, 2009

Biomassa Lenhosa	Poder Calorífico (kJ/kg)		
	PCS	PCI	PC Útil
Carvalho	18793 ^a	17541 ^a	-
Castanheiro	-	-	14615 ^b
Pinheiro	19086 ^c	15000 ^d	16703 ^b
Freixo	19264 ^a	17969 ^a	-
Oliveira	19209 ^e	17956 ^e	-
Outras espécies florestais	18791 ^g	12527 ^g	19000 ^f
Pellets	19030 ^h	17620 ^h	-
Briquetes	21239 ⁱ	19860 ⁱ	17175 ⁱ

ANEXO IV: VALORES DE FATORES DE EMISSÃO

Referências Bibliográficas consultadas:

- a EEA, 2009b
- b Kakareka *et al.* 2004
- c Gulland, 2003
- d NIR, 2011
- e Germain 2005
- f WLAP, 2004
- g BUWAL, 2001. *Massnahmen zur Reduktion von PM10-Emissionen*, Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft. Schlussbericht, Abteilung Luftreinhaltung und NIS. Citado por Trozzi, 2009.
- h CITEPA 2003
- i EPA, 1998
- j Schauer *et al.*, 2001
- k Lee *et al.*, 2005
- l Borrego *et al.*, 2008
- m Purvis *et al.*, 2000
- n Karlsvik E, 2004. *Antydning av utslippsnivå for partikler fra tradisjonelle ovner i Oslo*. Notat fra SINTEF Energiforskning AS. Prosjektnr. Citado por Illerup *et al.* 2004
- o Johansson *et al.*, 2004

LAREIRA		
NO_x	50 g/GJ	a
CO	6000 g/GJ	a
COVNM	1300 g/GJ	a
SO_x	10 g/GJ	a
NH₃	10 g/GJ	a
PST	900 g/GJ	a
PM₁₀	860 g/GJ	a
PM_{2,5}	850 g/GJ	a
Pb	40 mg/GJ	a
Cd	2 mg/GJ	a
Hg	9,4 mg/GJ	a
As	0,5 mg/GJ	a
Cr	1 mg/GJ	a
Cu	8 mg/GJ	a
Ni	2 mg/GJ	a
Se	0,5 mg/GJ	a
Zn	100 mg/GJ	a
PCB	0,06 mg/GJ	b
PCDD/F	800 ng I-TEQ/GJ	a
Benze (b)pireno	180 mg/GJ	a
Benze(b)fluorantheno	180 mg/GJ	a
Benze(k)fluorantheno	100 mg/GJ	a
Indeno (1,2,3-cd)pireno	140 mg/GJ	a
HCB	6 µg/GJ	a
PAH	600 mg/GJ	a

LAREIRA ABERTA																				
NOx	5,00E-08	kg/kJ	d	1,4	kg/Ton	f	87,5	g/GJ	c											
CO	4000	g/GJ	a	77,7	g/kg	ef	4,00E-06	kg/kJ	d	4856,3	g/GJ	c								
COVNM	1,7	g/GJ	h																	
SOx	1,00E-08	kg/kJ	d	0,2	kg/Ton	f														
PST	150	g/GJ	g	875	g/GJ	i	750	g/GJ	h	475	g/GJ	m	19,3	Kg/Ton f	1206,3	g/GJ	c			
PM₁₀	150	g/GJ	g	805	g/GJ	i	713	g/GJ	h	425	g/GJ	k	2,88E-07	kg/kJ	l	18,5	kg/Ton f	1156,3	g/GJ	c
PM_{2,5}	698	g/GJ	h	18,4	g/kg	e	480	g/GJ	j	2,79E-07	kg/kJ	l	18,4	Kg/Ton f	1156,3	g/GJ	c			
PCDD/F	11	ng I-TEQ/GJ	k																	
COV	90 - 800	g/GJ	a	6,5	g/kg	e	8,00E-07	kg/kJ	d	6,5	kg/Ton	f	406,3	g/GJ	c					
PAH	97	mg/GJ	k	0,0375	g/kg	e	13,937	mg/GJ	a	10,062	mg/GJ	a	1,01E-08	kg/kJ	d					
CO₂	9,50E-05	kg/kJ	d																	
CH₄	3,00E-07	kg/kJ	d																	
N₂O	4,30E-09	kg/kJ	d																	
SO₂	12,5	g/GJ	c																	

LAREIRA FECHADA										
NOx	5E-08	kg/kJ	d	1,4	kg/Ton	f	87,5	g/GJ	c	
CO	3,5E-06	kg/kJ	d	115,4	g/kg	e	98,6	kg/Ton	f	6162,5 g/GJ c
COVNM	1600	g/GJ	h	1700	g/GJ	a				
SOx	1E-08	kg/kJ	d	0,2	kg/Ton	f				
PST	13,5	kg/Ton	f	843,75	g/GJ	c				
PM₁₀	1,9E-07	kg/kJ	l	13	kg/Ton	f	813	g/GJ	c	
PM_{2,5}	1,9E-07	kg/kJ	l	13,6	g/kg	e	12,9	kg/Ton	f	806,25 g/GJ c
COV	670	g/GJ	a	21,3	g/kg	e	21	kg/Ton	f	1312,5 g/J c
PAH	3,5	mg/GJ	a	0,215	g/kg	e				
CO₂	1,6E-10	kg/kJ	d							
SO₂	12,5	g/Gj	c							

ESTUFA/SALAMANDRA										
NOx				50	g/GJ	a				
CO				6000	g/GJ	a	77,7	g/kg	e	
COVNM				1200	g/GJ	a				
SOx				10	g/GJ	a				
NH₃				5	g/GJ	a				
PST				850	g/GJ	a	640	g/GJ	n	
PM₁₀				810	g/GJ	a	608	g/GJ	n	
PM_{2,5}				810	g/GJ	a	23,2	g/kg	e	576 g/GJ n
Pb				40	mg/GJ	a				
Cd				1	mg/GJ	a				
Hg				0,4	mg/GJ	a				
As				0,5	mg/GJ	a				
Cr				2	mg/GJ	a				
Cu				8	mg/GJ	a				
Ni				2	mg/GJ	a				
Se				0,5	mg/GJ	a				
Zn				100	mg/GJ	a				
PCB				0,06	mg/GJ	b				
PCDD/F				800	ng I-TEQ/GJ	a				
Benze(b)pireno				250	mg/GJ	a				
Benze (b)fluorantheno				240	mg/GJ	a				
Benze(k)fluorantheno				150	mg/GJ	a				
Indeno (1,2,3-cd)pireno				180	mg/GJ	a				
HCB				6	µg/GJ	a				
COV				100	g/kg	e	1,20E-06	kg/kJ	d	
PAH				820	mg/GJ	a	0,215	g/kg	e	

CALDEIRAS DOMÉSTICAS					
NOx	120 g/GJ	a	0,00000005 kg/kJ	d	
CO	4000 g/GJ	a	8,8 g/Kg	e	0,000005 kg/kJ d
COVNM	400 g/GJ	a			
SOx	30 g/GJ	a	0,00000001 kg/kJ	d	
NH₃	3,8 g/GJ	a			
PST	500 g/GJ	a	35 g/GJ	o	
PM₁₀	475 g/GJ	a	33 g/GJ	o	
PM_{2,5}	475 g/GJ	a	1,1 g/Kg	e	32 g/GJ o
Pb	40 mg/GJ	a			
Cd	2 mg/GJ	a			
Hg	0,6 mg/GJ	a			
As	2 mg/GJ	a			
Cr	5 mg/GJ	a			
Cu	10 mg/GJ	a			
Ni	10 mg/GJ	a			
Se	0,5 mg/GJ	a			
Zn	200 mg/GJ	a			
PCB	0,06 mg/GJ	b			
PCDD/F	500 ng I-TEQ/GJ	a			
Benze(b)pireno	130 mg/GJ	a			
Benze(b)fluorantheno	200 mg/GJ	a			
Benze(k)fluorantheno	100 mg/GJ	a			
Indeno (1,2,3-cd)pireno	80 mg/GJ	a			
HCB	6 µg/GJ	a			
COV	1,5 g/Kg	e	0,0000004 kg/kJ	d	
PAH	510 mg/GJ	a	0,0015 g/Kg	e	

TECNOLOGIA AVANÇADA					
NOx	90 g/GJ	a	87,5 g/GJ	c	
CO	4500 g/GJ	a	4400 g/GJ	c	
COVNM	450 g/GJ	a			
SOx	20 g/GJ	a			
NH₃	0 g/GJ	a			
PST	250 g/GJ	a	318,8 g/GJ	c	
PM₁₀	240 g/GJ	a	300 g/GJ	c	
PM_{2,5}	240 g/GJ	a	300 g/GJ	c	
Pb	30 mg/GJ	a			
Cd	1 mg/GJ	a			
Hg	0,4 mg/GJ	a			
As	0,5 mg/GJ	a			
Cr	8 mg/GJ	a			
Cu	2 mg/GJ	a			
Ni	2 mg/GJ	a			
Se	0,5 mg/GJ	a			
Zn	80 mg/GJ	a			
PCB	0,06 mg/GJ	b			
PCDD/F	300 ng I-TEQ/GJ	a			
Benze(b)pireno	100 mg/GJ	a			
Benze(b)fluorantheno	90 mg/GJ	a			
Benze(k)fluorantheno	40 mg/GJ	a			
Indeno (1,2,3-cd)pireno	60 mg/GJ	a			
HCB	6 µg/GJ	a			
COV	437,5 g/GJ	c			
PAH	290 mg/GJ	a			
SO₂	12,5 g/GJ	c			
CO₂	1,6E-10 kg/kJ	d			
CH₄	3,00E-07 kg/kJ	d			
N₂O	4,3E-09 kg/kJ	d			