



UNIVERSIDADE DO ALGARVE
FACULDADE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA

**AVALIAÇÃO DO POTENCIAL ENERGÉTICO
DA BIOMASSA FLORESTAL RESIDUAL NA
ZIF DE ARADE-ALTE/ SÃO BARTOLOMEU
DE MESSINES**

Tiago Samuel dos Santos Mourinho

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em
Energias Renováveis e Gestão de Energia

Setembro de 2011

UNIVERSIDADE DO ALGARVE
FACULDADE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA

AVALIAÇÃO DO POTENCIAL ENERGÉTICO
DA BIOMASSA FLORESTAL RESIDUAL NA
ZIF DE ARADE-ALTE/ SÃO BARTOLOMEU
DE MESSINES

Tiago Samuel dos Santos Mourinho

Dissertação apresentada à Universidade do Algarve para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Energias Renováveis e Gestão de Energia, realizada sob orientação científica do Professor Doutor Mário Manuel Ferreira dos Reis, Professor Auxiliar da Faculdade Ciências e Tecnologia da Universidade do Algarve e co-orientação da Professora Doutora Maria de Belém Martins, Professora Auxiliar da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Algarve.

Setembro de 2011

Agradecimentos

No decurso deste trabalho foram muitas as pessoas que tiveram vontade e disposição em colaborar. Este trabalho seria certamente muito diferente sem essa ajuda.

Em primeiro lugar, e enquanto homem de fé agradeço a Deus.

Agradeço à minha irmã Fátima Mourinho e ao meu cunhado João Mourato pelo apoio incondicional e por me terem ensinado a ser quem sou.

Agradeço aos professores: Thomas Panagopoulos, Margarida Castro, José Luís Argain, Armando Inverno, António Mortal e Ilídio Mestre, todos eles docentes da Universidade do Algarve por se mostrarem sempre disponíveis para esclarecimento de dúvidas e troca de opiniões e pelo enorme interesse demonstrado pelo trabalho.

Agradeço ao professor José Luís Lousada da Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro pelos preciosos conselhos e orientações dadas, por se ter pré-disposto e colocado os meios necessários para a realização de experiências necessárias a este trabalho. Foi muito importante o auxílio prestado, e sem este o trabalho não seria o mesmo.

Agradeço a todos os meus colegas que me ajudaram no trabalho de campo: João, Stélio, Fernando, Samir, Marcos, Liane, Alfredo e Lenine. A vossa preocupação em colaborar, mesmo sabendo das dificuldades foi extraordinária e fez toda a diferença.

Agradeço a todos os proprietários e residentes, que sempre se mostraram disponíveis em colaborar com o estudo, respondendo aos questionários, dúvidas e cedendo os seus terrenos para a realização do trabalho de campo. Um especial agradecimento pelos conselhos, informações e orientações ao Sr. João Rafael um homem com uma visão prática muita apurada, e aos Senhores Manuel e Américo Guia pelas orientações no terreno e por partilharem as vossas opiniões.

Agradeço ao Luís Madeira pelo auxílio e pelos esclarecimentos de dúvidas no trabalho em SIG.

Agradeço à Adriana Guerreiro, à Luísa Coelho e à Cátia Guerreiro por todo o apoio prestado e por terem tornado mais fácil o contacto com as pessoas locais.

Ao Luís Marques, ao Ricardo Barreto e ao Jackson Pachito agradeço o companheirismo, o espírito de camaradagem e todo o apoio prestado tanto na realização deste trabalho bem como ao longo de todo o percurso académico.

Agradeço aos meus orientadores Mário Reis e Maria de Belém Martins, pela disponibilidade em orientar e esclarecer dúvidas.

Agradeço também a muitas outras pessoas que deram uma preciosa ajuda e que não poderia deixar de mencionar:

Doutor Rui Fernandes (CM Silves); Eng. Ezequiel (AIDA); Presidente da Junta de Messines Sr. João Carlos; Eng. António Carlos (CM Silves); Eng. Patrícia Cruz (INLOCO); Eng. Almeida Morgado (Central Termoelétrica Mortágua); Eng. Paulo (Floponor) e António Xavier.

A todos vós muito obrigado!

RESUMO

Palavras-chave: Biomassa florestal residual, Zona de Intervenção Florestal, Estilha, Poder Calorífico, Valor Energético, Sustentabilidade.

A floresta ocupa em Portugal 38% do território e tem uma grande importância económica social e ambiental. Contudo, as alterações económicas e sociais das últimas décadas levaram ao abandono da utilização de mato e de lenha que passaram a acumular-se na floresta. Esta acumulação de biomassa no sub-coberto da floresta conduziu ao aumento do número de incêndios florestais. Por outro lado o mercado da biomassa florestal têm vindo a desenvolver-se, e hoje as oportunidades que este recurso pode oferecer começam a ser reconhecidas.

O presente trabalho tem três objectivos principais: 1) Quantificar a produção de biomassa florestal residual na ZIF Arade/ Alte de São Bartolomeu de Messines e estimar o seu valor energético; 2) Analisar a disponibilidade da biomassa florestal tendo em conta restrições físicas, ambientais e económicas; e 3) Prever cenários de aproveitamento do potencial energético disponível na área de estudo.

A produção de biomassa florestal na ZIF em estudo foi estimada em 2924 toneladas secas ano, o que equivale a 62438 GJ/ano. Contudo o aproveitamento de todo este potencial não é possível sem que isso implique um aumento dos custos, e um detrimento de determinados factores ambientais. O cálculo da disponibilidade de biomassa florestal residual atendendo às restrições consideradas foi de 1214,1 toneladas secas ano o equivalente a 25885,6 GJ/ano.

O cenário previsto foi a utilização dos resíduos florestais para produção de energia térmica para aquecimento das Piscinas de Silves.

Após análise dos dados obtidos durante a realização deste trabalho concluiu-se que o aproveitamento da biomassa proveniente, quer das espécies arbóreas, quer do substrato arbustivo se apresenta como uma alternativa viável do ponto de vista energético, económico (períodos de retorno de investimento de 2,6 e 3,6 anos) e ambiental.

ABSTRACT

Keywords: Residual forest biomass, Forest intervention zone, Wood splinter, Heat of combustion, Energy value, Sustainability.

The Forest stands for 38 % of Portuguese territory and has high economic, social and environmental importance. However, economic and social changes of the last decades led to the abandon of brushwood and wood use, which became to accumulate in the forest. This accumulation of biomass covering the forest contributed to an increment of forest fires. On the other hand the forest biomass market has been developing and today the opportunities this resource has to offer are better known.

The present work has three main objectives: 1) Quantify the residual forest biomass production in ZIF Arade / Alte de São Bartolomeu de Messines and estimate its energetic value; 2) Analyze the availability of the forest biomass attending physical, environmental and economical restrictions; 3) Foresee the usage of available energetic potential scenarios in the study area.

The production of forest biomass in study ZIF was estimated in 2924 dry tons year, which is the equivalent to 62438 GJ/year. However, the use of all this potential is not possible without implying an increment in cost and in detriment of certain environmental factors. The calculation of BFR availability according to the considered restrictions was of 1214,1 dry tons year, the equivalent of 25885,6 GJ/year.

The predicted scenarios were the use of forest residue for the production of thermal energy for heating Silves swimming pool.

After analysis of the results obtained during this work, it was conclusive that the idea of using biomass from whether tree species or tree substrate, is a viable alternative from the energetic, financial (investment return period of 2,6 and 3,6 years) and environmental point of view.

*“It might said that energy is for the
Mechanical world what consciousness is for the
Human world. If energy fails, everything fails.”
(Small is beautiful, E.F. Schumacher)*

ÍNDICE

Conteúdo

1.	Introdução	1
1.1	Objectivos	1
2.	Recursos Energéticos Florestais e o Seu potencial	4
2.1	Situação Energética Actual	4
2.2	Características da biomassa	5
2.2.1	Propriedades da Biomassa	5
2.2.2	Massa Volúmica Aparente	6
2.2.3	Conteúdo em Cinza	7
2.2.4	Dureza Mecânica	7
2.2.5	Granulometria	8
2.3	Utilização Actual da Biomassa num contexto Mundial	8
2.4	Utilização Actual da Biomassa no Contexto Europeu	10
2.5	Utilização Actual da Biomassa florestal em Portugal	12
2.5.1	A Floresta Portuguesa	12
2.5.2	Biomassa florestal: oportunidade e valor	16
2.5.3	Incentivos e políticas energéticas para o aproveitamento da biomassa florestal em Portugal	22
2.5.4	Vantagens/Limitações do Uso de Biomassa para Produção de Energia e Tendências Futuras.	23
3.	Sistemas de Exploração de Biomassa Florestal Residual	27
3.1	Produção	28
3.2	Logística	31
3.2.1	Transporte Primário	32
3.2.2	Processamento	33
3.2.3	Transporte Secundário	39
3.3	Sistemas de Exploração de Biomassa Florestal Residual	41
3.3.1	Recolha e transporte de biomassa no terreno, sem pré-processamento.	41
3.3.2	Processamento de biomassa no local	44
3.4	Tecnologias de Conversão	45

3.4.1	Combustão	47
3.4.2	Gaseificação	48
3.4.3	Pirólise	49
4.	Sustentabilidade dos Sistemas de Exploração de Biomassa Residual	50
4.1	Sustentabilidade Ambiental	50
4.1.1	Efeitos da colheita muito intensiva de BFR na produtividade do local a curto e médio prazo	51
4.2	Sustentabilidade económica	65
4.3	Ferramentas de apoio à decisão para analisar cenários de extracção de biomassa florestal	70
5.	Avaliação da biomassa florestal residual para fins energéticos na ZIF Arade – Alte / São Bartolomeu de Messines	74
5.1	Caracterização biofísica da área de estudo	74
5.1.1	Localização	74
5.1.2	Relevo e Altimetria	75
5.1.3	Clima	77
5.1.4	Litologia	77
5.1.5	Uso e ocupação do solo	78
5.2	Metodologia	80
5.2.1	Quantificação da biomassa florestal residual potencial	83
5.2.2	Análise da disponibilidade de biomassa florestal residual	101
5.2.3	Construção de Cenários que Visem o Aproveitamento da BFR e Análise da sua Potencial Vantagem Económica e Ambiental.	112
6.	Resultados e Discussão	116
6.1	Quantificação da biomassa florestal residual potencial	116
6.1.1	Matos	116
6.1.2	Sobreiros	117
6.1.3	Pinheiros	119
6.1.4	Eucaliptos	120
6.2	Análise da disponibilidade de biomassa florestal residual	123
6.2.1	Áreas de explorabilidade	123
6.2.2	Custos de operações de exploração de biomassa florestal residual	126
6.2.3	Determinação dos raios de abastecimento	130
6.2.4	Determinação do rendimento líquido do produtor	131

6.2.5	Construção de Cenários que Visem o Aproveitamento da BFR e Análise da sua Potencial Vantagem Económica e Ambiental.	132
7.	Resumo das Principais Limitações	143
8.	Conclusões	147
8.1	Sugestões	148
9.	Bibliografia	150
10.	Anexo I - Mapas e Cartas	161
11.	ANEXO II – Fichas de campo utilizadas	192
12.	Anexo III - Amostragem Estratificada Proporcional	199

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 – Consumo final da energia mundial em 2001	10
Figura 2 – Taxa de Arborização por Concelho	13
Figura 3 – Área Florestal por espécie	13
Figura 4 – Distribuição Geográfica de Espécies Arbustivas	14
Figura 5 – Valor económico do sector florestal em países da UE	15
Figura 6 – Classificação de Combustíveis à base de madeira	19
Figura 7 – Ciclo de Carbono da biomassa	25
Figura 8 – Esquema Geral dos Sistemas de Exploração de BFR	27
Figura 9 – Forwarder	32
Figura 10 – Skidder	33
Figura 11 – Estilhador de Facas	35
Figura 12 – Estilha resultante da trituração com máquina de facas	35
Figura 13 – Aspecto do funcionamento do estilhador martelos	36
Figura 14 – Estilha resultante de trituração com martelos	36
Figura 15 – Máquina para a produção de fardos	39
Figura 16 – Recolha de BFR sem pré-processamento	42
Figura 17 – Processamento de biomassa no carregadouro	43
Figura 18 – Processamento de biomassa no Parque Pré-tratamento	44
Figura 19 – Processamento de biomassa no local	45
Figura 20 – Opções de conversão de energia primária e secundária de BFR	46
Figura 21 – Fluxo de nutrientes de e para um ecossistema florestal	52
Figura 22 – Carta de localização da ZIF em estudo	74
Figura 23 – Carta da rede hidrográfica	76
Figura 24 – Esquema geral de avaliação potencial de biomassa	81
Figura 25 – Esquema geral dos objectivos do trabalho	83
Figura 26 – Pesagem das amostras recolhidas	89
Figura 27 – Parcela de amostragem depois recolha de materiais	89
Figura 28 – Podas de pinheiros	96
Figura 29 – Disponibilidade de área para explorabilidade	125
Figura 30 – Disponibilidade de energia anual por espécie	126
Figura 31 – Distribuição de custos nas operações de exploração de BFR	128
Figura 32 – Custo total da BFR em função da distância	130
Figura 33 – Consumo de gás propano em 2009/2010 nas piscinas de Silves	133
Figura 34 – Consumo de gás propano na caldeira por ano nas piscinas de Silves	134
Figura 35 – Comparação do uso de estilha vs gás propano (cenário1)	136
Figura 36 – Comparação do uso de estilha vs gás propano (cenário2)	140

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 – Produção de resíduos florestais em Portugal	20
Tabela 2 – Comparação de estilha vs pellets	37
Tabela 3 – Emissões de GEE nas fases de exploração de BFR	64
Tabela 4 – Prós e contras da exploração de BFR para energia	69
Tabela 5 – Informações para suporte à decisão no <i>EnerTree</i>	72
Tabela 6 – Alternativas de decisão no <i>EnerTree</i>	73
Tabela 7 – Declives do terreno na área de estudo	75
Tabela 8 – Exposições do terreno da área de estudo	76
Tabela 9 – Ocupação florestal na área de estudo	79
Tabela 10 – Classes de declive na área de estudo	102
Tabela 11 – Classes de acessibilidade na área de estudo	103
Tabela 12 – Classes de explorabilidade na área de estudo	104
Tabela 13 – Custo da tecnologia de produção de energia térmica a partir de estilha	114
Tabela 14 – Tratamento estatístico dos dados registados para os matos	116
Tabela 15 – Tratamento estatístico dos dados registados para podas de sobreiros	118
Tabela 16 – Tratamento estatístico dos dados registados para resíduos de sobreiros mortos	118
Tabela 17 – Tratamento estatístico dos dados registados para podas de Pinheiros	119
Tabela 18 – Tratamento estatístico dos dados registados para resíduos de eucaliptos	120
Tabela 19 – Resultados obtidos na avaliação da BFR potencial na área de estudo	121
Tabela 20 – Quantidade de BFR por tipo de ocupação florestal	124
Tabela 21 – Área de explorabilidade por tipo de ocupação florestal	125
Tabela 22 – Valor energético da BFR por tipo de ocupação florestal e por classe de explorabilidade	125
Tabela 23 – Custos de transporte primário e trituração	127
Tabela 24 – Disponibilidade final de BFR passível de ser explorada	129
Tabela 25 – Rendimento líquido médio do produtor	132
Tabela 26 – Características da caldeira das piscinas de Silves	133
Tabela 27 – Consumo de gás propano vs consumo de estilha	135
Tabela 28 – Período de retorno (cenário1)	137
Tabela 29 – Consumo de gás vs consumo de estilha (cenário 1)	139
Tabela 30 — Período de retorno (cenário2)	140
Tabela 31 – Consumo de gás vs consumo de estilha (cenário 2)	141

LISTA DE ABREVIATURAS

BFR – biomassa florestal residual

DGEG – Direcção Geral de Energia e Geologia

ZIF – Zona de intervenção florestal

FER – Fontes de energia renováveis

IEA- Agência Internacional de Energia

GEE – Gases de efeito de estufa

PCS- Poder calorífico superior

PCI – Poder calorífico inferior

PMDFCI – Plano municipal de defesa da floresta contra incêndios

PNAC – Plano nacional para alterações climáticas

DAP – Diâmetro à altura do Peito

PAP- Perímetro à altura do Peito

DGRF – Direcção Geral Recursos Florestais

DGF- Direcção Geral das Florestas

IEA- Agência Internacional de Energia

IFN- Inventário Florestal Anual

MJ- Mega joules

GJ- Giga joules

TJ- Tera joules

t ms – tonelada seca

1. INTRODUÇÃO

1.1 OBJECTIVOS

Foi já na década de 70, quando o mundo viveu duas crises de petróleo, que a Europa e os Estados Unidos incentivaram a produção de energia através da utilização de fontes de energia renováveis, como a biomassa (CCE, 2005 a).

Biomassa é definida segundo a Directiva 2001/77/EC de 27 de Setembro de 2001, como “ a fracção biodegradável de produtos e resíduos da agricultura (incluindo substâncias vegetais e animais), da floresta e das indústrias conexas, bem como a fracção biodegradável de resíduos industriais e urbanos” (ADENE/INETI, 2001).

A energia proveniente da biomassa é considerada renovável, no sentido em que toda a energia obtida da biomassa resulta de processos biológicos que aproveitam a energia solar, cujo ciclo pode ser mantido através de reflorestação.

A presente dissertação tem como objectivo principal:

- Fazer uma avaliação do potencial energético dos resíduos florestais, na Zona de intervenção florestal (ZIF) de Arade – Alte/ São Bartolomeu de Messines.

A biomassa, como recurso renovável que é, assume especial relevância na Estratégia Nacional para a Energia, não sendo a solução directa para substituir os combustíveis fósseis, no entanto, aparece como mais um contributo, para o sector energético português, permitindo a integração entre as políticas florestais e ambientais com as políticas energéticas.

O recurso “Biomassa” explorado num sistema sustentável, pode ser competitivo em termos do seu valor calorífico, contudo o seu real valor assume uma expressão mais significativa quando contabilizado à luz dos critérios de Quioto e do seu valor social.

A realização da presente dissertação vai de encontro ao descrito anteriormente numa perspectiva local com a máxima “pensar globalmente, agir localmente”. A biomassa enquanto combustível têm-se revelado cada vez mais fiável e têm vindo a aumentar a sua procura nos sistemas de aquecimento doméstico, individual e colectivo.

Os sistemas de biomassa densificada com recurso a *pellets*, briquetes e estilha permitiram a concorrência com sistemas tradicionais que usam combustíveis fósseis como o gás ou o gasóleo, através do seu funcionamento automático. Um outro factor que contribuiu para a emergência deste tipo de energia é que Portugal apresenta um grande potencial e disponibilidade de biomassa, com viabilidade económica para o seu uso.

A presente dissertação pretende contribuir também, para o desenvolvimento, sensibilização e adopção deste tipo de tecnologia a nível local, através do aproveitamento e rentabilização dos recursos existentes (biomassa), e consequentemente ajudar a atingir as metas propostas pela União Europeia no que diz respeito à emissão de CO₂, uso de energias denominadas alternativas e redução da dependência energética externa.

Este trabalho considera o aproveitamento de resíduos florestais presentes na área de estudo (ZIF Arade – Alte/ São Bartolomeu de Messines). A biomassa florestal residual (BFR) consiste na fracção da biomassa florestal que é produzida como um resíduo das operações de exploração florestal (podas e desramações, cortes finais e limpeza de matos). Outros tipos de resíduos florestais passíveis de serem explorados não foram considerados no estudo em causa. Verifica-se que este tipo de resíduos apresenta um grande potencial para ser valorizado, e um dos usos possíveis é servir como combustível de caldeiras a biomassa, tendo adjacente ao seu aproveitamento a redução de custos de gestão (transporte, valorização, eliminação, etc.). Entende-se portanto que o estudo da quantificação e viabilidade do aproveitamento de resíduos é de todo o interesse.

A presente tese está estruturada em nove capítulos. O capítulo 2 deste trabalho serve de capítulo introdutório ao tema da biomassa florestal e aborda assuntos como: - os diferentes tipos de biomassa existentes e as suas propriedades físicas, o contributo deste recurso na actualidade e algumas tendências futuras. No capítulo 3 são descritos os sistemas de exploração de biomassa florestal, desde a sua produção até à conversão de energia, sendo abordada a sustentabilidade desses sistemas no capítulo 4. No capítulo 5 faz-se a caracterização da área de estudo, é feita uma revisão bibliográfica sobre as metodologias de avaliação da produção e disponibilidade da biomassa, e a apresentação da metodologia seguida. Neste capítulo ainda são abordados os diferentes cenários possíveis para aproveitamento do potencial energético da área de estudo. Os resultados são apresentados e discutidos no capítulo 6. O capítulo 7 aborda as limitações do

trabalho, por último o capítulo 8 considera as principais conclusões e são feitas algumas sugestões e recomendações para trabalhos futuros.

2. RECURSOS ENERGÉTICOS FLORESTAIS E O SEU POTENCIAL

No início deste capítulo, e antes de se abordar mais especificamente a temática da biomassa, torna-se necessário uma abordagem à temática da situação energética actual num contexto nacional.

2.1 SITUAÇÃO ENERGÉTICA ACTUAL

Portugal é um país com grande dependência energética devido à escassez de combustíveis fósseis, como o petróleo, o carvão e o gás, que asseguram a generalidade das necessidades energéticas na maioria dos países desenvolvidos. Segundo a DGGE, a dependência energética de Portugal face ao exterior é de 81,2% (2006 a).

O petróleo mantém um papel essencial na estrutura de abastecimento, representando 48,7% do consumo total de energia primária, o gás natural por sua vez representa 17,5%, o consumo de carvão atingiu 11,8% e por fim as energias renováveis contribuíram com 20% no consumo total de energia primária (DGGE).

A biomassa representou 22% da electricidade a partir das FER. Apesar de ter uma importância assinalável, a potência instalada em centrais dedicadas a biomassa (biomassa florestal residual) é apenas 12 MW, repartida pelas centrais de Mortágua (9 MW) e Centroliva (3 MW) (dados DGGE). A indústria da pasta de papel, no sentido de aproveitar determinados resíduos, nomeadamente o licor negro, utiliza a produção de calor gerado na combustão desses resíduos para processos industriais e para a produção de electricidade, quer para consumo próprio, quer para injectar na rede eléctrica de serviço público.

Perante este cenário coloca-se o problema da segurança do abastecimento e da independência energética, estando o país sujeito à volatilidade do preço do petróleo e também do gás natural e do carvão, embora em menor escala. Esta é uma das mais importantes razões para que hoje a maioria dos países esteja a apostar nas energias renováveis e na eficiência energética.

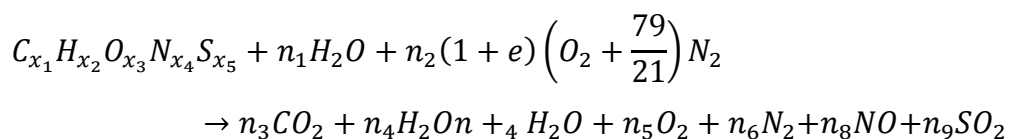
Neste contexto surge a importância de realçar o uso de biomassa florestal como fonte de energia. A biomassa é uma fonte sustentável de energia, desde que o CO_2 lançado durante a combustão seja posteriormente retirado da atmosfera pela vegetação para produzir nova biomassa. A biomassa é também um combustível doméstico e distribuível, significando um aumento na segurança local de provisões de energia, aumento da actividade, rendimento e emprego em áreas rurais, e uma redução possível de preços da superprodução agrícola na Europa.

Seguidamente serão abordadas questões relevantes ao uso da biomassa florestal para fins energéticos.

2.2 CARACTERÍSTICAS DA BIOMASSA

A combustão é a forma mais eficaz de valorização da biomassa. Com a combustão pretende-se a transformação da energia química contida na biomassa em energia térmica (Chiaromonte, 2007).

A equação 1 traduz o processo de combustão de biomassa. A combustão da biomassa traduz-se num processo mais complexo que o da combustão de metano ou gasolina uma vez que a sua composição é mais rica e variável em termos físico-químicos (Tabares *et al.*, 2000).



Equação (1)

2.2.1 Propriedades da Biomassa

A equação 1, representa a composição simplificada da biomassa uma vez que apenas se apresenta formada por C,H,O,N,S e H_2O .

Para uma boa combustão da biomassa são essenciais: a facilidade de secagem, a baixa temperatura de ignição, o elevado teor em voláteis e o elevado poder calorífico (fonte: Tabares *et al*, 2000). A humidade, a granulometria, a densidade e a heterogeneidade são também características que influenciam a eficiência de combustão.

O poder calorífico apresenta especial relevância uma vez que representa a quantidade de energia libertada pelo combustível por unidade de massa. A humidade condiciona de um modo bastante directo o calor disponível. Os valores de humidade variam entre os 40% a 60% consoante tipo de biomassa e o clima associado.

O processo que permite medir o conteúdo de humidade do biocombustível é descrito na norma CEN/TS 14774. Esta metodologia consiste na determinação da perda de peso da amostra de “biomassa”, quando sujeita a tratamento térmico com temperatura de 105 °C.

2.2.2 Massa Volúmica Aparente

A massa volúmica aparente é a relação entre uma determinada massa de combustível sólido e o volume do recipiente cheio que a contem, segundo condições precisas.

Esta propriedade calcula-se utilizando a equação 2 se o material de análise estiver húmido e a equação 3 se o material estiver seco.

$$D_{ar} = \frac{(m_2 - m_1)}{V}$$

Equação (2)

$$D_{dm} = D_{ar} \times \frac{(100 - M_{ar})}{100}$$

Equação (3)

Onde:

D_{ar} - Densidade aparente de material húmido;

D_{dm} – Densidade aparente de material seco;

M_{ar} – Conteúdo de humidade da massa recebida expressa em percentagem em peso (base seca);

m_1 – O peso do contentor vazio em kg;

m_2 – O peso do contentor cheio em kg;

V - o volume do contentor cilíndrico empregado para efectuar para medir em m³.

2.2.3 Conteúdo em Cinza

A norma de referência é a CEN/TS 14775.

A determinação do conteúdo de cinza de uma amostra de biocombustível baseia-se na massa residual, obtida após a sua combustão, e calcula-se pela seguinte expressão:

$$A_{db} = \frac{(m_3 - m_1)}{(m_2 - m_1)} \times 100 \times \frac{100}{100 - M_{ad}}$$

Equação (4)

Onde:

m_1 – Massa, em gramas, do prato vazio;

m_2 – Massa, em gramas, do prato com amostra;

m_3 – Massa, em gramas, do prato com cinza;

M_{ad} – Percentagem relativa ao conteúdo de humidade da amostra (em base húmida).

2.2.4 Dureza Mecânica

A norma que descreve o procedimento para medir a durabilidade mecânica dos biocombustíveis é a CEN/TS “*Solid Biofuels – Method for determination of mechanical durability of pellets and briquettes*”.

O instrumento de medida da dureza mecânica é o *lignotester*, a medição deve ocorrer numa câmara onde a pressão é mantida a 70 mbar. A dureza calcula-se pela seguinte relação:

$$DU = \frac{m_A}{m_E} \times 100$$

Equação (5)

Onde:

DU – Dureza Mecânica;

m_E – Massa da amostra de “biomassa” depende do tratamento e é expressa em g;

m_A – Massa da amostra de “biomassa” depois de tratamento e é expressa em g.

2.2.5 Granulometria

Para determinação da quantidade de pó utilizam-se peneiros com diferentes diâmetros, de acordo com o pedido na normativa de referência (ISO 3310-1 *Test sieves – Technical requirements and testing – Part 1 . Test sieves of metal wire cloth* e ISO 3310-2 *Test sieves –Technical requirements and testing*).

2.3 UTILIZAÇÃO ACTUAL DA BIOMASSA NUM CONTEXTO MUNDIAL

A biomassa enquanto recurso energético é largamente utilizada em países em desenvolvimento, fornecendo cerca de um terço do consumo de energia primária, ao passo que a contribuição nos países mais desenvolvidos é menos significativa. As florestas fornecem uma fonte localmente disponível e ambientalmente renovável de combustível (IEA, 2003). No entanto a sua utilização têm que ser sustentável numa base ecológica, económica e social para garantir que as futuras gerações possam utilizar os recursos da floresta com a mesma intensidade. Os benefícios da madeira como combustível são conhecidos ao longo de toda a história, e as florestas já foram submetidas a períodos de exploração pesada. Hoje, as atitudes em direcção à floresta mudaram consideravelmente, e nos países desenvolvidos a saúde do ecossistema da

floresta se tornou um tópico importante na agenda dos ambientalistas, políticos e da sociedade em geral.

A crescente procura de biomassa como fonte energética (calor ou electricidade), assim como de combustíveis líquidos e gasosos, é justificada pelos seguintes factores: contribuição para a diminuição da pobreza em vários países em desenvolvimento; satisfação das necessidades de energia sem necessidade de recurso a equipamentos de conversão dispendiosos; produção de energia sob diferentes formas; contribuição para a requalificação de terrenos degradados, aumentando a biodiversidade, fertilidade do solo e retenção de água (Bert and Christensen, 2003); excessos de matérias-primas, maior procura de energia, considerações políticas e pressões internacionais de organizações ambientais não-governamentais (Hall & Combs, 1987).

Várias estatísticas indicam que a percentagem de biomassa no âmbito global de consumo de energia tem-se mantido estável ao longo dos últimos 30 anos. A Agência Internacional de Energia estima que o consumo de energia final a nível mundial a partir de biomassa foi de 16%, percentagem esta, muito aproximada comparativamente, ao consumo final de energia com outras fontes, nomeadamente electricidade (15%) e Gás (16%) tal como é evidente na figura 1 (IEA, 2003).

Ao nível regional, o uso da biomassa varia significativamente. As regiões em desenvolvimento (Ásia, África e América do Sul) apontam os níveis de consumo mais elevados (IEA, 2002; World Bank, 2003 c) em comparação com regiões desenvolvidas.

De acordo com a IEA, aproximadamente 50 % da população em países em desenvolvimento utiliza a biomassa como fonte primária de energia atingindo em regiões pontuais uma taxa de 73%. A biomassa é considerada a fonte de energia “dos pobres”, o que se revela verdadeiro quando aliado ao uso tradicional de biomassa a qual é adquirida “gratuitamente” (Reddy *et al*, 1997; Karekezi and Kithyoma, 2002; Kgathi *et al*, 1997; Hall and Mao, 1994; Karekezi and Rauja, 1997).

Existe portanto uma correlação entre os níveis de pobreza e o uso tradicional da biomassa (IEA, 1998). O uso tradicional da biomassa para produção de energia refere-se directamente à combustão directa da madeira, folhas, resíduos agrícolas e resíduos sólidos urbanos.

Actualmente a biomassa é utilizada de duas outras formas, nomeadamente através de tecnologias eficientes de combustão directa da biomassa, como por exemplo

recuperadores de calor, etc., e através do uso “moderno” da biomassa para energia sobre a forma de combustíveis líquidos, gás e electricidade (AFREPREN, 2002).

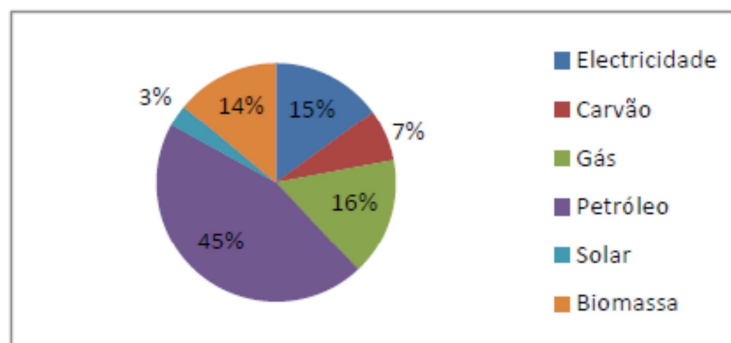


Figura 1 – Consumo final da energia mundial em 2001 (fonte: IEA, 2003)

2.4 UTILIZAÇÃO ACTUAL DA BIOMASSA NO CONTEXTO EUROPEU

Já não é de hoje que os decisores políticos europeus se confrontam com a necessidade de enfrentar diversos desafios no que respeita à política energética - as implicações ambientais e económicas das alterações climáticas são inevitáveis e a segurança energética da Europa está em risco devido à grande dependência das importações de energia.

Tendo em conta estas considerações, a UE vêm demonstrando ao longo dos anos a iniciativa de imposição de metas para a energia a partir de FER. A política energética europeia vem avançando em três frentes distintas:

- Na procura de competitividade, que leve ao crescimento económico e à criação de emprego;
- Na segurança do abastecimento, reduzindo a dependência energética dos países;
- E na sustentabilidade, comprometendo-se com a redução de emissões de GEE.

Estas três forças motrizes estão patentes em várias estratégias e políticas que visam objectivos concretos e ambiciosos, ainda que realistas e imperativos.

Em 1997, a União Europeia estabeleceu o objectivo de atingir um contributo global das FER de 12 % em 2010 (CCE, 1997).

Em 2001 surgiu a directiva 2001/77/CE que estabeleceu uma meta global de 22,1% para a produção de electricidade a partir de FER em 2010, a meta individual para Portugal era de 39%. Em 2004 segundo a EEA (2006), o contributo da energia renovável para a produção de electricidade da União Europeia (UE15) e Portugal situava-se em 14,7% e 24,4% respectivamente.

Mais recentemente em 2009 surgiu uma directiva (2009/28/EC) que constitui um marco histórico na legislação europeia no que diz respeito à promoção do uso de energia através de fontes renováveis. Esta directiva dá o necessário apoio político aos mercados das energias renováveis que têm enorme potencial para o crescimento económico e criação de emprego. Os estados membros da União Europeia (27), são obrigados pela directiva a entregar um plano de acção nacional para as energias renováveis (PANER).

A directiva das Energias renováveis estabelece os seguintes objectivos para 2020:

- Aumentar a quota de fontes de energia renováveis no consumo final de energia Europeu para 20%, a partir de aproximadamente 8,5% em 2005, através de metas nacionais obrigatórias;
- Alcançar a meta de 10% de energias renováveis nos transportes em todos os estados membros;

Objectivos destes, são sinais para os investidores de que a aposta nas energias renováveis está incluída numa política coerente e de longo prazo.

Neste sentido, a Comissão Europeia ciente de que a biomassa pode dar um contributo maior para a produção de energia primária elaborou um Plano de Acção para a Biomassa (CCE, 2005 a). Este plano estabelece um conjunto de medidas para promover a produção de energia a partir deste recurso. Entre as mais relevantes, pode-se destacar a sugestão de que os Estados-membros deverão elaborar os seus próprios planos, rever o valor de IVA no aquecimentos de edifícios a biomassa, implementar e monitorizar ajuda às culturas energéticas, incentivar a investigação na área das biorefinarias e biocombustíveis, e desenvolver uma estratégia temática para o aproveitamento de resíduos.

A União Europeia tem uma política de liderança no problema das alterações climáticas e que é indissociável da sua política energética. O protocolo de Quioto tem como principal objectivo o estabelecimento de um compromisso vinculativo para a redução de GEE no período 2008-2012. Com as metas apontadas no período referido a redução de

GEE representara uma redução de 5,2% em relação às emissões de 1990. A União Europeia interessada em combater o problema, assumiu uma redução de emissões de GEE na ordem dos 8%, tendo repartido as reduções pelos diferentes países, assumindo desta forma o protocolo como um bloco.

O mecanismo de Quioto – o mercado de emissões, a implementação conjunta e o mecanismo de desenvolvimento limpo - favorecem o desenvolvimento da biomassa. O comércio de licenças de emissão, já em funcionamento ao nível europeu e regulamentado pela directiva 2003/87/CE, permite aos produtores de energia reduzirem as suas emissões através da co-combustão de biomassa. O mecanismo de desenvolvimento limpo e a implementação conjunta abrem o caminho ao desenvolvimento de projectos que reduzam as emissões de GEE. As centrais dedicadas de biomassa podem, neste contexto, ser elegíveis para reduzir as emissões de GEE e ajudar a alcançar as metas definidas.

A par com as metas estabelecidas, que vão no sentido de aumentar a relevância da bioenergia, estima-se que o potencial da bioenergia, que inclui os biocombustíveis, possa representar entre 15-16% das necessidades energéticas em 2030 na Europa (Wiesenthal *et al*, 2006).

2.5 UTILIZAÇÃO ACTUAL DA BIOMASSA FLORESTAL EM PORTUGAL

2.5.1 A Floresta Portuguesa

Em Portugal continental a área existente de floresta corresponde a cerca de $3,35 \times 10^6$ hectares. Esta parcela corresponde a um valor de 38% do total do território português. Da área florestal existente cerca de 75% são ocupados por três espécies de árvores; o *Pinus pinaster* (Pinheiro bravo), o *Quercus suber* (sobreiro) e o *Eucalyptus globulus* (eucalipto). A figura 2 apresenta a taxa de arborização por concelho e a figura 3 a área florestal por espécie arbórea.

Relativamente às espécies arbustivas, as espécies mais comuns são: tojo (*Ulex europaeus*, *Ulex micranthus* e *Ulex minor*), as urzes (diversas espécies da família Ericaceae), a carqueja (*Pterospartum tridentatum*), as giestas (diversas espécies da ordem *Cytisus* e *Genista*), as estevas (*Cistus ladanifer* e *Cistus populifolius*) e as silvas

(diversas espécies do género *Rubus*). A distribuição geográfica destas espécies de matos encontra-se na figura 4.

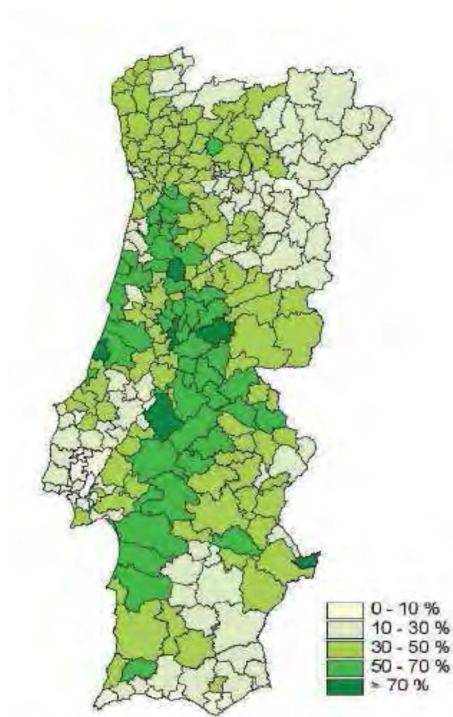


Figura 2 – Taxa de arborização por concelho
(fonte: DGRF, 2001)

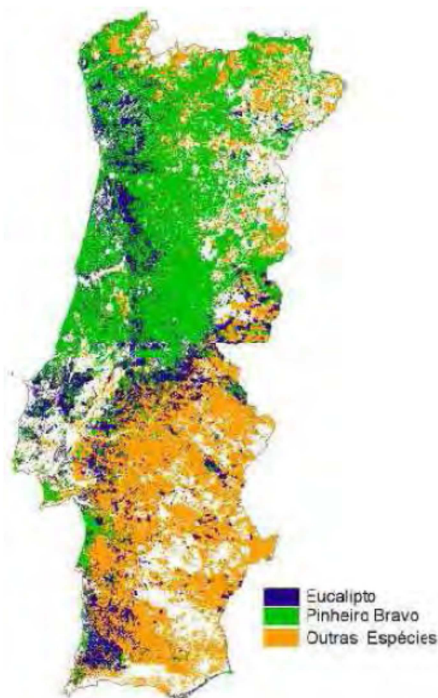


Figura 3 – Área Florestal por espécie
(fonte: DGRF, 2007)

A floresta portuguesa apresenta valores mais elevados no que diz respeito aos valores de uso directo e valores de uso indirecto, extraíndo cerca de 344 €/hectare/Ano, ao passo que a Espanha fica pelos 90€/hectare/ano e a França pelos 292€/hectare/ano (DGRF, 2007).

A figura 5, apresenta comparação do valor económico total do sector florestal em Portugal e alguns países apresentado no estudo “Valuing Mediterranean Forests, Towards Total Economic Value” (Mendes *et al* , 2004).

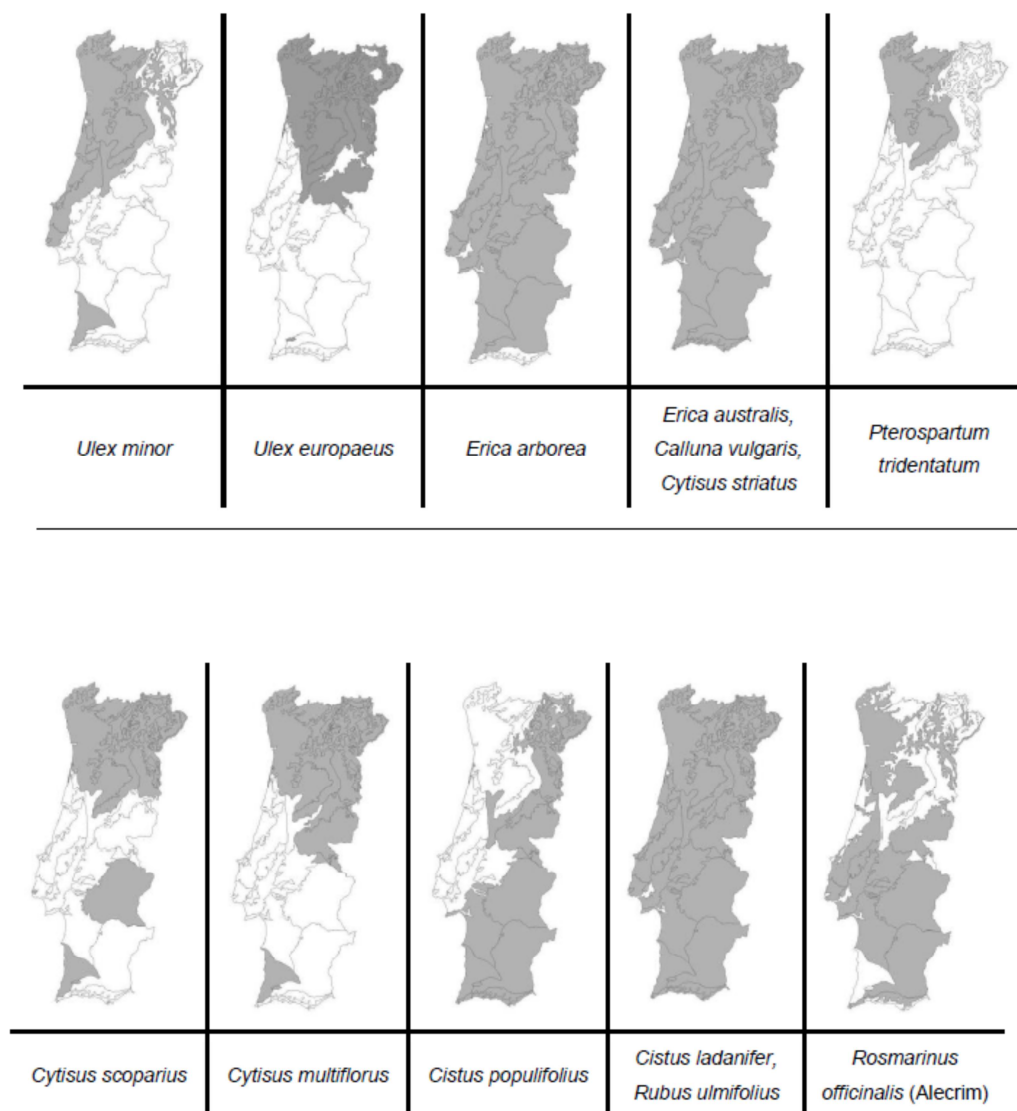


Figura 4 – Distribuição Geográfica de Algumas espécies Arbustivas em Portugal Continental
(Fonte: UTAD, 2009).

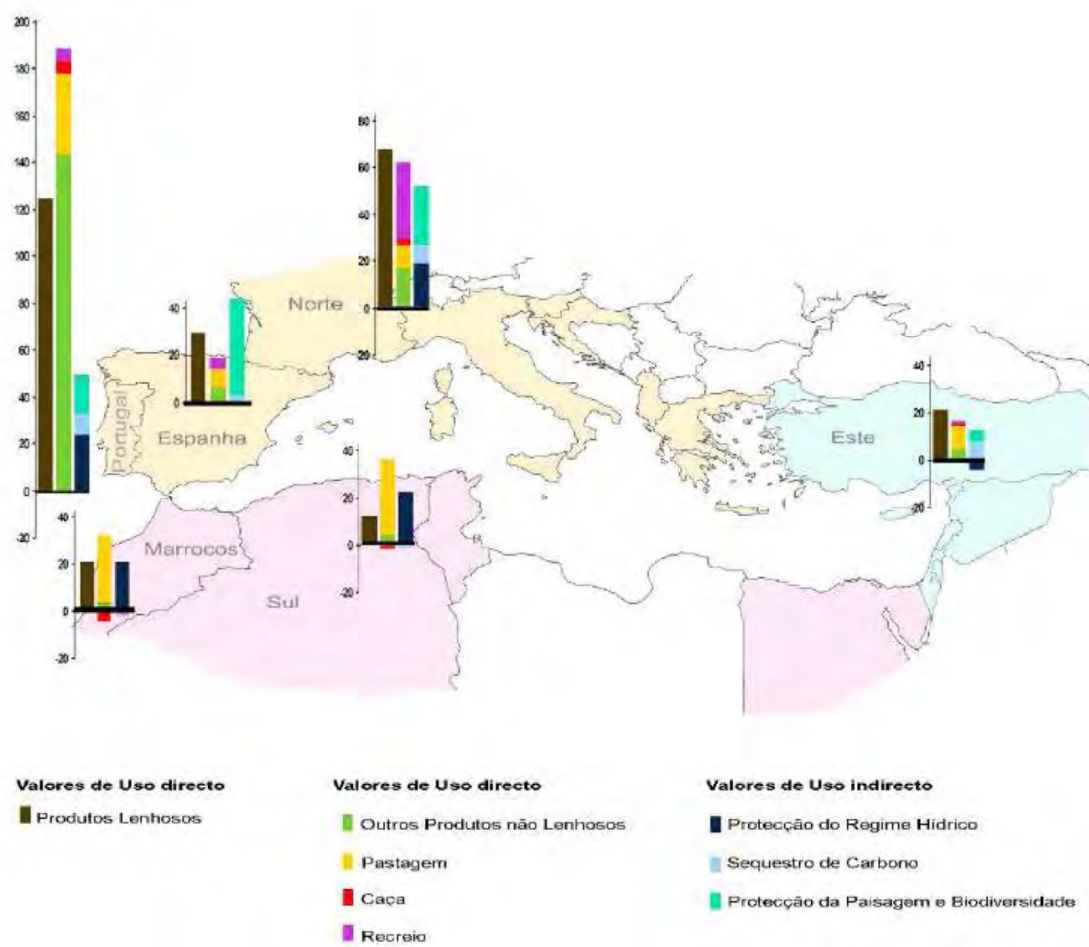


Figura 5 – Comparação do valor económico total do sector florestal em vários países da UE (fonte: Merlo & Croiture, 2005).

Relativamente à estrutura da propriedade e características dos proprietários florestais, são de realçar algumas conclusões do estudo de Oliveira Batista & Terra Santos (2006):

- Quase 75% da superfície florestal de Portugal Continental pertence a proprietários florestais privados;
- 67% dos proprietários privados possuem áreas florestais inferiores a 5 hectares e apenas 4% tem áreas superiores a 100 hectares;
- O rendimento proveniente da floresta representou para 76% dos proprietários menos de 10% do rendimento do proprietário nos últimos dez anos.

Depois de uma breve caracterização da floresta em Portugal, é visível que a biomassa é um recurso energético com forte potencial em território nacional. Portugal é um dos países europeus com maior percentagem de área florestal, e também possui uma área absoluta de floresta superior à média europeia.

No entanto, esta disponibilidade pode ficar desaproveitada pelo facto dos proprietários privados possuírem áreas de reduzidas dimensões e fragmentadas, impossibilitando economias de escala.

Outra razão que pode conduzir ao desinteresse pela floresta relaciona-se com ocorrência de incêndios florestais de grandes dimensões, proporcionados por condições climáticas favoráveis, o clima mediterrâneo com verões quentes e secos favorece a ocorrência de incêndios. Outros factores que contribuem para a ocorrência deste tipo de desastres é o abandono rural, a acumulação de combustível, a negligência ou o fogo posto. O elevado risco de incêndio afasta ainda mais os proprietários da actividade florestal e conduz ao subaproveitamento dos recursos florestais.

A internacionalização do mercado florestal também tem contribuído fortemente para uma descida de preços da madeira e conseqüente desinteresse na produção por parte dos proprietários. A diminuição dos preços reflecte as conseqüências da liberalização dos preços e concorrência dos mercados internacionais. Esta internacionalização deveu-se essencialmente a três factores: a integração de Portugal na União Europeia, a evolução das regras do comércio internacional e o aproveitamento de vários tratados e convénios internacionais.

Na tentativa de salvar os negócios adjacentes ao sector florestal existem o Plano de Desenvolvimento Sustentável da Floresta Portuguesa (DGRF, 1998) e o Plano Nacional das Alterações Climáticas que visam entre outros objectivos, a fixação do carbono através do uso florestal, a promoção da utilização da madeira em produtos de longa duração, o melhoramento da eficácia de exploração e comercialização dos produtos florestais e melhoramento e competitividade dos produtos florestais face aos materiais alternativos.

2.5.2 Biomassa florestal: oportunidade e valor

No âmbito do aproveitamento energético, a biomassa directa da floresta é aquela que em Portugal tem suscitado maior interesse quer pelo potencial energético que representa quer pela quantidade produzida.

A biomassa florestal para fins energéticos pode ser dividida em três grupos: Primária, Secundária e Terciária de resíduos. As principais fontes de resíduos primários são os

resíduos de exploração de madeira que são subproduto das operações florestais convencionais (Hakkila & Parikka 2002). Resíduos industriais ou Secundários são subprodutos de processos industriais florestais, incluindo a casca, serradura, aparas e lascas, pontas de corte transversal e secreções negras (Ranta, 2003). Madeira reciclada ou resíduos de nível terciário são outra fonte de biomassa para energia, constituídos predominantemente por produtos de construção, demolição e processos de embalagem (Figura 6).

A biomassa florestal caracteriza assim um dos maiores recursos endógenos de que Portugal dispõe. O interesse na utilização da biomassa para fins energéticos em centrais dedicadas aumentou após alteração do valor da tarifa verde, para a energia eléctrica produzida com base na biomassa, em 2005. Este aumento da tarifa representou aproximadamente 38% face ao valor anterior (CBE, 2001).

Este factor foi determinante para o aumentar a apetência dos agentes económicos para os 15 concursos públicos abertos pela administração pública, em 2006, para a atribuição de capacidade de injeção de potência na rede do sistema eléctrico de serviço público. A potência total em concurso foi de 100 MVA (CBE, 2011).

A Estratégia Nacional para as Florestas, (ENF) aprovada RCM nº 114/2006, de 15 de Setembro, reconheceu a importância que o sector florestal representa para o país e destacou o valor dos recursos florestais nas suas diversas valências económicas, sociais, e ambientais (CBE, 2011).

A Estratégia Nacional para Energia (ENE) aprovada pela RCM nº29/2010, de 15 de Abril, considera as energias renováveis como uma alavanca para a política energética, dado o contributo destas para a promoção do crescimento económico e para independência energética nacional. A conjugação dessas duas estratégias visa criar sinergias e contribuir para uma gestão profissional e sustentável da floresta, assim como para a concretização dos objectivos assumidos para o sector energético, nomeadamente o de atingir 31% de energia renovável até 2020 ao consumo de energia final.

De acordo com o Plano de Acção Nacional para as Energias Renováveis (PANER), a capacidade instalada para a produção de electricidade é de cerca de 500 MW, sendo de esperar que em 2013-2014 sejam atingidos os 958 MW. Para as centrais dedicadas foi estabelecida uma meta específica de 250 MW de potência instalada para o mesmo horizonte.

A utilização energética da biomassa, no contexto florestal, representa uma forma de aumentar a eficiência dos recursos disponíveis, promovendo o desenvolvimento do sector; a viabilidade económica dos sistemas agro-florestais pelo associativismo e emparcelamento, contrariando a tendência actual de abandono; constituindo mais um favor do ordenamento e da gestão florestal até à indústria e simultaneamente garantindo a conservação dos recursos (CBE 2011).

No contexto energético o uso de biomassa permite contribuir para a diminuição forte da dependência energética. Portugal importa mais de 80% da energia que consome, interessa pois reduzir o desequilíbrio das contas externas que as importações de energia geram e simultaneamente contribuir para o cumprimento dos compromissos internacionais assumidos pelo governo, nomeadamente as metas do protocolo de Quioto (CBE, 2011).

As metas definidas para a produção de energia a partir de biomassa, a que se assistiu nos últimos 5 anos, não foram acompanhadas da geração de recurso, ou seja o sector da biomassa debate-se hoje com uma grave barreira, a sustentabilidade e disponibilidade do recurso capaz de responder aos desafios propostos, aos projectos já licenciados e outros que possam surgir.

Na última década tem sido apresentadas diversas estimativas para o potencial de biomassa existente no país, valores estes que nem sempre são convenientemente identificados de acordo com a sua representatividade face ao universo da biomassa florestal.

Os estudos sobre a biomassa florestal em Portugal começaram em 1985 com o trabalho realizado pela consultora Arthur D. Little e pela Tecninvest. O estudo estava orientado por oito objectivos, dos quais sobressai a determinação da disponibilidade e custos dos resíduos florestais (objectivo 1). A produção anual de resíduos florestais e resíduos de da indústria da madeira foi avaliada em 3,54 milhões de toneladas verdes, proveniente na sua maioria da exploração florestal do pinheiro bravo, eucalipto e sobreiro, (tabela 1). Para além do seu enorme contributo como pioneiro para a avaliação do potencial de biomassa florestal, o estudo fundamentou-se numa não menos importante amostragem de campo que culminou no desenvolvimento das primeiras equações para a estimação de BFR.

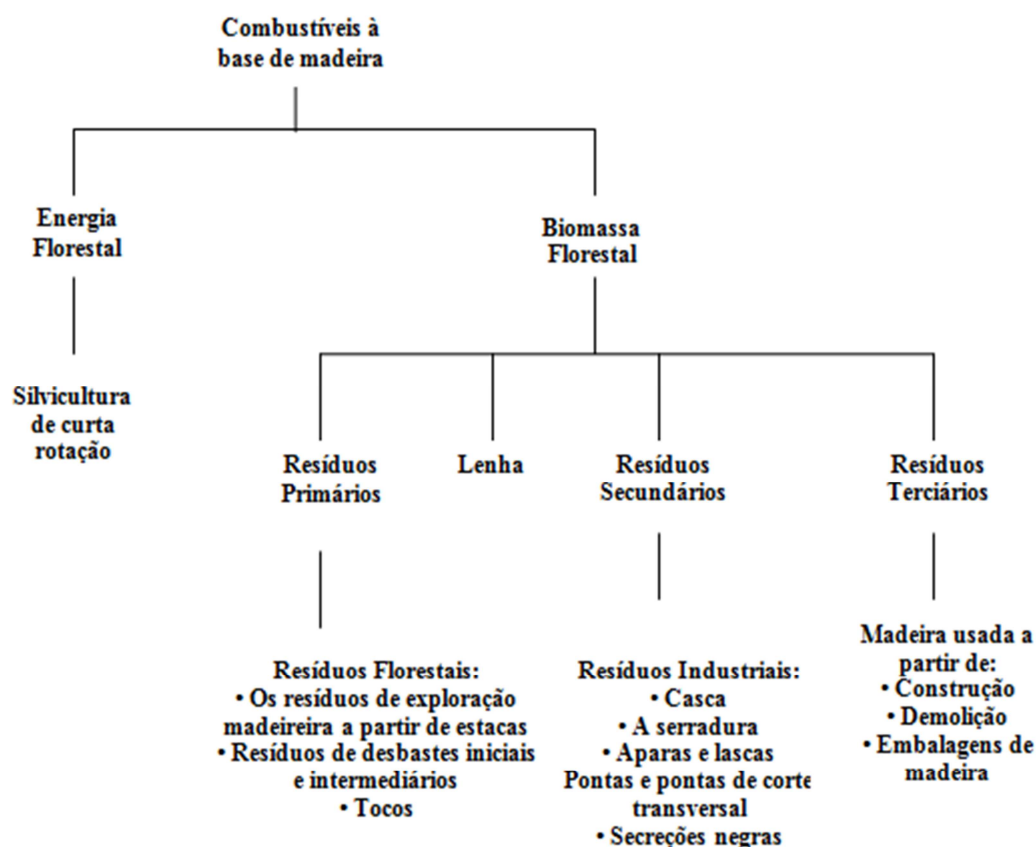


Figura 6 – Classificação de combustíveis à base de madeira (Fonte: Adaptado Dominik Roser, 2008)

A ADENE e o INETI em 2001 procederam a uma nova estimativa da produção de biomassa em Portugal. Os resultados obtidos mostram que a floresta portuguesa pode fornecer anualmente cerca de 2 milhões de toneladas secas, enquanto o contributo da indústria transformadora da madeira foi estimado 200 mil toneladas secas (ADENE & INET, 2001). A estimativa efectuada para floresta inclui não só os ramos e bicadas, mas também os matos e a biomassa proveniente de áreas ardidas.

Em 2006, um estudo realizado por Campilho, baseado numa diferente abordagem de avaliação, concluiu que a produção de biomassa florestal proveniente da exploração do pinheiro bravo e do eucalipto, complementada com uma estimativa da produção de biomassa dos matos do sub-coberto florestal perfazia um total de 5,1 milhões de toneladas secas, dos quais 1,4 e 1,1 milhões de toneladas provêm dos povoamentos de pinheiro bravo e eucalipto, respectivamente.

Comparando apenas a BFR proveniente dos povoamentos florestais, constata-se que as estimativas variam entre cerca 1,7 e 2,5 milhões de toneladas secas. Esta variabilidade é

significativa dado que a estimativa mais elevada inclui apenas os povoamentos de eucalipto e pinheiro bravo, enquanto a estimativa mais baixa refere-se a todos os resíduos florestais.

Origem	Peso verde (10 ⁶ t/ano)	%	Peso seco (10 ⁶ t/ano)	%
Pinheiro bravo	1,22	0,34	0,51	0,27
Eucalipto	0,91	0,26	0,40	0,21
Sobreiro	0,90	0,25	0,65	0,35
Outros resíduos florestais	0,30	0,08	0,20	0,11
Resíduos da indústria da madeira	0,22	0,06	0,11	0,06
Total	3,54		1,87	

Tabela 1 – Produção de resíduos florestais em Portugal por origem (Fonte: A.D.Little&Tecninvest, 1985).

Quando se fala de biomassa, e em particular de biomassa florestal para fins energéticos, deve-se ter particular atenção aos factores que condicionam a rentável e sustentável utilização deste recurso. A biomassa florestal é um recurso muito heterogéneo, bastante disperso no território, associado a condições geográficas adversas e, muitas vezes, com escassas infra-estruturas associadas, o que o torna oneroso e de difícil exploração. Importa pois distinguir alguns conceitos que contribuem para as grandes variações quanto aos valores da biomassa florestal frequentemente apresentados.

O inventário florestal 2005-2006 (IFN) apresenta valores para o acréscimo médio anual de biomassa total e para a biomassa média por hectare e por espécie. Esses valores representam o potencial produtivo e dessas quantidades apenas uma parte pouco significativa representa a biomassa disponível para utilização energética.

Outra estimativa baseada no potencial produtivo, mas com uma validade mais próxima daquela que procura o equilíbrio entre a rentabilização do investimento e a manutenção da sustentabilidade, tem a ver com a disponibilidade da biomassa, ou seja biomassa disponível, quer seja para utilização energética ou qualquer outra.

O conceito de disponibilidade, associado à biomassa, entra em consideração com factores limitantes, quer seja a nível da sua exploração nomeadamente, condicionantes físicas decorrentes do relevo e ambientais, do tipo de solo e outras que tornem restritivas a sua utilização. Importa pois verificar a disponibilidade ambiental da

biomassa. Por outro lado devem ser avaliadas também as condicionantes económicas que poderão surgir quando a exploração da biomassa se torna de tal modo onerosa que impossibilita a rentabilização do seu uso, neste caso trata-se da disponibilidade económica.

Dado o exposto, é frequente que, tendo em conta as condições orográficas e a estrutura de propriedade da floresta, estudos prévios definam um potencial de biomassa florestal bastante elevado mas que, após a introdução no modelo de cálculo de adequadas restrições, se verifique uma redução significativa da biomassa considerada disponível. São exemplo os valores apresentados no Fórum das Energias Renováveis, 2002, onde se verifica uma redução de mais de 65% entre o potencial produtivo e a disponibilidade.

Num cenário de insustentabilidade do recurso, e para que a biomassa possa vir a dar o seu forte contributo na produção de energia a partir de fontes renováveis, urge criar condições para tornar o recurso sustentável e economicamente viável a sua utilização, nomeadamente através de dinamização de incentivos que promovam a disponibilidade de biomassa, quer através de boas práticas de gestão florestal, quer pelo aumento das áreas florestadas, quer pela diversificação das espécies através da introdução de culturas energéticas florestais.

É fundamental a integração da fileira da biomassa com várias fileiras já existentes no sector florestal, promovendo uma melhor floresta com uma maior e melhor produção em todas as suas vertentes produtivas.

Ao nível político é fundamental agilizar os processos pendentes inerentes à construção das centrais dedicadas a biomassa florestal já licenciadas, publicar os novos valores da tarifa remuneratória da energia eléctrica produzida com biomassa, implementar as medidas previstas na ENF e na ENE2020 com vista à sustentabilidade do recurso num cenário de crescente procura, criando desse modo as bases para o investimento com solidez e reduzido grau de risco.

2.5.3 Incentivos e políticas energéticas para o aproveitamento da biomassa florestal em Portugal

A bioenergia florestal precisa de um quadro político favorável para ser competitivo.

Um dos princípios que baseia a política europeia é o princípio da subsidiariedade, que pretende o poder de decisão o mais próximo possível do cidadão. A União Europeia enquadra e orienta as políticas dos estados membros, sem deixar de lhes conferir a liberdade na definição concreta das políticas e instrumentos que pretendem implementar.

A nível comunitário a preocupação de integração das políticas energética e ambiental está revertida na nova “Política Energética para a Europa”, assente em 4 pilares:

- Um mercado de energia funcional;
- A passagem para uma economia de baixo carbono;
- Aumentar a eficiência energética;
- Criar uma nova abordagem nas relações com os países terceiros.

Pretende-se assim transformar a Europa numa economia energética altamente eficiente e com baixa produção de CO_2 , satisfazendo em simultâneo os requisitos energéticos e ambientais.

Do enquadramento estratégico dos compromissos internacionais assumidos, resultaram as estratégias e planos nacionais destinados ao cumprimento dos objectivos propostos.

Em Portugal a aposta na biomassa tem-se restringido à produção de electricidade, (CBE, 2011). Portugal optou por um sistema de tarifas de aquisição aliada a concursos públicos. Foi no seguimento desta política que foi aberto um concurso para quinze centrais dedicadas a biomassa. Segundo o decreto-lei nº225/2007 - a tarifa de aquisição para as centrais de biomassa está entre os 106-108 €/MWh e é válida nos primeiros 25 anos a partir do momento em que começa a fornecer electricidade à rede. Contudo, em vários países europeus, a co-combustão de biomassa é elegível para uma tarifa superior à do mercado português.

Este tipo de incentivos e de políticas para além de irem ao encontro dos objectivos da política energética europeia, pretendem também valorizar os resíduos das operações de silvicultura tradicionais e de silvicultura preventiva. Neste último caso, o Plano Nacional de Defesa da Floresta contra Incêndios (PNDFCI), considera uma medida que

consiste na redução de combustível através da implementação de uma rede de gestão de combustível, e que envolverá a redução total ou parcial da vegetação. Também a criação das Zonas de Intervenção Florestal (ZIF), com a melhoria da gestão silvícola que se espera, poderá criar condições para uma abordagem integrada dos produtos e serviços florestais, entre os quais a BFR.

A Estratégia Nacional para a Energia prevê a instalação efectiva 250 MW de potência eléctrica a partir de centrais dedicadas a biomassa, mas omite o potencial da biomassa como fonte de energia para o aquecimento residencial e de edifícios públicos.

No entanto, apesar da política energética portuguesa, no que respeita à biomassa, ser excessivamente estreita nas suas aplicações, existe a possibilidade de recorrer a outro tipo de incentivos, nomeadamente, através da comparticipação de investimentos. O programa PRIME, através da Medida de Apoio ao Aproveitamento do Potencial Energético (MAPE), permitiu eleger projectos de energias renováveis para obtenção de juros reduzidos e comparticipações que podiam chegar até 40% do investimento total. Também foram aprovados os programas Operacionais para o Quadro de Referência Estratégica Nacional (QREN) para o período entre 2007 e 2013, e que permitem a candidatura de projectos baseados na investigação e desenvolvimento e internacionalização de pequenas e médias empresas.

2.5.4 Vantagens/Limitações do Uso de Biomassa para Produção de Energia e Tendências Futuras.

Das diferentes **vantagens** em diferentes campos de uso da biomassa que têm vindo a ser verificadas, torna-se necessário resumir as principais, uma vez que a biomassa é apontada como uma excelente oportunidade de negócio no campo energético. Das várias vantagens verificadas destacam-se:

- Dinamização das zonas rurais com a criação de emprego;
- Redução da emissão dos GEE;
- Auxílio no cumprimento das metas nacionais de produção de energia através de fontes renováveis;
- Elevada disponibilidade de biomassa por todo o país;

- Alguma experiência adquirida com a central termoelétrica de Mortágua, na área do abastecimento e seu relacionamento com os agentes do sector, experiência adquirida pelo Centro da Biomassa para Energia através de estudos desenvolvidos nesta matéria.
- Aumento da diversidade de oferta de energia, e possibilidade de armazenamento de energia;
- Diminuição dos riscos de incêndios;
- Balanço CO₂ neutro;
- Diminuição de Pragas;
- Dinamização e criação de florestas mais sustentáveis.

Como qualquer outro combustível, o seu uso e toda a logística inerente, apresentam várias limitações e desvantagens. O mesmo se verifica com o uso da biomassa. Das principais **limitações** apontam-se:

- É um combustível taxado com 23% de IVA na actualidade, ao passo que determinados combustíveis fósseis como o gás natural e outros têm um menor imposto sobre o valor acrescentado inerente ao seu uso – este factor é realmente limitativo e representa uma desvantagem ao uso de BFR enquanto combustível. Este facto parece ir ao encontro da estratégia energética nacional;
- Fraco conhecimento e experiência de aproveitamento energético de biomassa;
- Inexistência de equipamentos específicos de recolha de resíduos, com as inerentes dificuldades de recolha e comercialização e limitações inerentes ao tipo de propriedade: dimensão, dispersão e orografia;
- O aproveitamento de resíduos resultantes da exploração florestal encarado separadamente da exploração de material lenhoso;
- Incêndios florestais;
- Ausência de mercado para resíduos florestais, não se criou a tradição de recolha de resíduos em grande escala;
- Dificuldades de abastecimento pela existência de diferentes fontes e agentes intervenientes na fileira florestal, que não se dedicam exclusivamente ao negócio da biomassa;
- Falta de conhecimento científico que justifique o balanço entre a recolha de resíduos e o fundo de fertilidade dos solos;
- Falta de informação quanto às políticas, os incentivos e as tecnologias a usar.

Mais adiante, no capítulo 4, serão abordadas mais detalhadamente algumas das vantagens e limitações apontadas para o uso de biomassa como fonte de energia.

No entanto, antes de considerar algumas das tendências futuras do aproveitamento da biomassa em Portugal, é importante referir que o - balanço de CO_2 neutro referido como vantagem no uso de biomassa para energia, apenas se verifica se se excluir, para efeitos de análise, as emissões adicionais de CO_2 fóssil libertadas na recolha, tratamento e transporte da biomassa. De qualquer forma, o balanço global de CO_2 neste sistema é menos negativo do que o balanço de CO_2 num sistema de produção de energia eléctrica ou de aquecimento a partir de combustível fóssil, como, por exemplo, o carvão e o gás (Silva 2009). A figura abaixo ilustra o ciclo de carbono da biomassa.

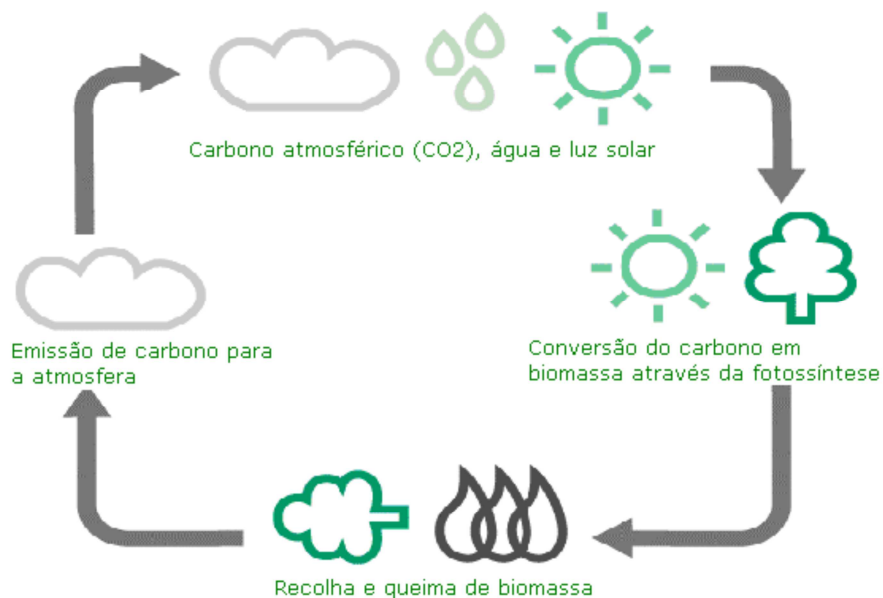


Figura 7 – O Ciclo do Carbono da Biomassa (adaptado de www.sywoodfuel.com, 2009)

Quanto às **tendências futuras** - as culturas florestais energéticas são parte do futuro da bioenergia. O desenvolvimento de culturas energéticas tais como, o salgueiro, choupo, ou eucalipto irão aumentar (CBE 2011), pois trata-se de sistemas intensivos de produção de biomassa e são caracterizados por ciclos de corte curtos, entre um a seis anos. Esses sistemas permitem não só uma maior mecanização de operações, bem como uma gestão orientada para uma sustentabilidade mais facilitada e uma redução de pressão na exploração da BFR.

Embora o desenvolvimento tecnológico avance no sentido de proporcionar tecnologias de produção de electricidade cada vez mais eficientes, a biomassa tem um enorme potencial para substituir combustíveis fósseis no aquecimento ambiente e água, recorrendo a sistemas limpos, baratos e eficientes. **Este sim, deve ser o principal caminho para a utilização de biomassa e onde a sua aplicação é mais otimizada, tendo em conta o grau de desenvolvimento de Portugal.**

Contudo, os sistemas de aquecimento de edifícios públicos e residenciais recorrendo à instalação de caldeiras modernas de biomassa, podem também funcionar em regime de cogeração, produzindo calor e electricidade, no entanto, será a trigeração, e não a cogeração, a tecnologia que mais adequaria ao clima português, aproveitando o calor produzido no verão, período em que as necessidades de aquecimento são quase nulas, para produzir frio.

O muito aguardado avanço tecnológico que se considera que pode causar uma pequena revolução no mundo da energia é a produção de biocombustíveis a partir de biomassa florestal, nomeadamente bioetanol e o biodiesel. Existem determinados processos para a produção destes biocombustíveis em desenvolvimento, no entanto ainda não são tecnologias comerciais para gerar produções a níveis industriais, mas podem sê-lo a médio prazo.

A biomassa será, no futuro, um recurso que pode ser utilizado para aquecimento, arrefecimento, electricidade e transportes, respondendo com uma percentagem significativa às necessidades energéticas das sociedades modernas.

É pois neste contexto, que devem ser feitos todos os esforços para ultrapassar todos os estrangulamentos.

3. SISTEMAS DE EXPLORAÇÃO DE BIOMASSA FLORESTAL

RESIDUAL

O estudo dos actuais sistemas de exploração de biomassa residual é algo importante no contexto desta tese, pois permite um melhor conhecimento acerca das operações florestais inerentes ao abastecimento de uma unidade transformadora de energia.

Um sistema de exploração de biomassa envolve duas componentes principais: a produção da biomassa florestal e a logística do abastecimento. É também objecto neste capítulo considerar as tecnologias de conversão (figura 8):

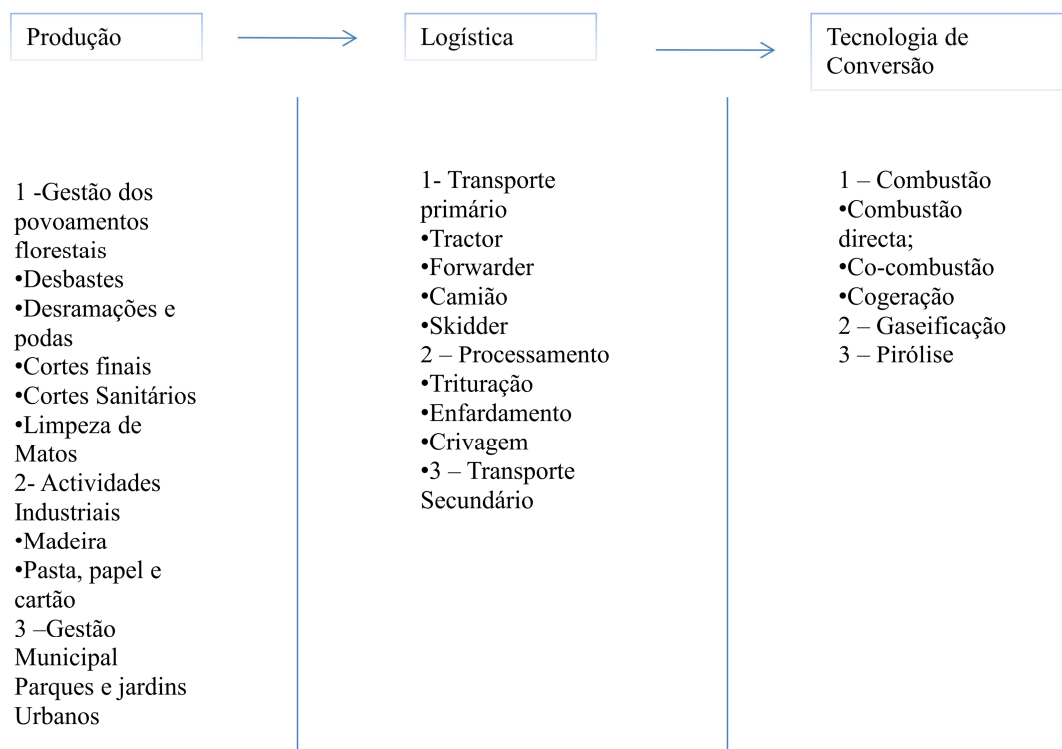


Figura 8- Esquema geral dos sistemas de exploração de biomassa Residual (Adaptado de Netto, 2008)

3.1 PRODUÇÃO

A biomassa florestal, como combustível para a produção de energia exige um processo de produção, recolha e logística que a distingue de outras fontes renováveis, como a energia eólica ou solar. É um recurso renovável, mas não é inesgotável, nem auto-sustentável. A opção pela biomassa obriga a um processo de produção integrada no conjunto das opções de gestão florestal.

A produção de biomassa deve ter em consideração o tipo de uso que irá ser realizado, quanto à sua qualidade e forma. A natureza do produto original (ex: lenho vs casca) também condiciona o produto final.

A produção de BFR poderá ter origem nas operações de gestão florestal, tais como:

- Desbaste - consiste na operação silvícola de remoção selectiva de árvores. O objectivo é de reduzir a pressão de competição entre indivíduos, promovendo uma distribuição espacial tendencialmente uniforme, remover indivíduos mal conformados e nos povoamentos mistos regular o grau e forma de mistura, e tem lugar quando o espaço de crescimento está totalmente ocupado. Este fim pode ser alcançado a partir de diferentes técnicas de eleição dos indivíduos a manter no povoamento, que podem alternar ao longo do tempo de acordo com os objectivos definidos e o desenvolvimento do povoamento. Na bibliografia podem encontrar-se vários tipos de desbaste, de entre os quais se destacam os desbastes pelo baixo, pelo alto, pelo alto misto, mecânico ou sistemático (para mais detalhes ver Correia e Oliveira, 2003,1999; Schutz, 1997; Smith *et al*; Alves, 1988; Oliveira, 1984). A selecção do tipo de desbaste deverá ser efectuada em função das características do povoamento e das produções que se pretendem obter, podendo variar ao longo do tempo.

A produção de BFR varia quantitativamente consoante o número de árvores removidas e o ano do povoamento, e normalmente restringe-se a ramos e bicadas, sendo a rolaria (se > 7,5cm diâmetro) aproveitada para outros fins que não produção de energia.

- Desramação – o objectivo da desramação é conduzir a forma do fuste. A desramação é efectuada até cerca de 30% do volume da copa, de modo a não originar reduções de crescimento, cortando apenas ramos de pequenas dimensões de modo a promover a rápida cicatrização das feridas e reduzir a

dimensão dos nós. Com a desramação obtêm-se material lenhoso passível de ser explorado energeticamente, e previne-se contra incêndios florestais, pela promoção da descontinuidade entre os estratos inferiores e os das copas. A mecanização desta operação pelos custos mais reduzidos, permite efectuar a operação em todas as árvores, especialmente em povoamentos jovens e de baixa densidade;

- Podas – consideram-se quatro tipos, com os seguintes objectivos:
 1. Formação – formar fustes e equilibrar copas. Tem lugar em espécies com fraca dominância apical, desde que a formação de fuste seja um objectivo de produção. Pelo seu custo, é uma operação que deverá ser efectuada nos indivíduos com melhores características de desenvolvimento e produção;
 2. Sanitária – de controlo da propagação de pragas e doenças. Destina-se a eliminar as partes da copa afectadas, reduzindo, assim, o risco de propagação;
 3. Frutificação – favorecimento da produção de fruto, pelo controlo da luminosidade e pressão de competição;
 4. Manutenção – destina-se unicamente a restabelecer o equilíbrio da copa quando esta foi afectada por causas naturais (bióticas ou abióticas) ou anteriores práticas de condução incorrectas e, assim manter a árvores em boas condições fisiológicas e produtivas durante tanto tempo quanto possível.

A lenha produzida aquando da realização das podas, dependendo do tipo de espécie arbórea e da quantidade disponível, pode representar um recurso bastante interessante para aproveitamento energético.

Refira-se que as podas, independentemente do tipo, devem ser executadas com moderação de forma a não originar a redução do potencial produtivo da árvore.

- O corte final ou raso – inclui tanto os cortes sanitários como os de realização.

Considera-se que os cortes de realização se efectuem quando se atinge o termo de explorabilidade, ou seja o momento em que os objectivos encontram o óptimo de explorabilidade biológica e ou económica, seja volume total ou principal, máximo acréscimo médio anual ou determinados resultados económico-financeiros.

O corte sanitário permite o controlo de propagação de pragas e doenças, devendo, por isso, ser efectuados sempre que existam indivíduos afectados.

Depois de transportada a madeira pode entrar em funcionamento um sistema de extracção de BFR que consiste na recolha dos resíduos deixados depois da extracção da

rolaria, incluindo a extração de cepos, contudo esta última operação é muito complexa porque exige maquinaria específica tanto na sua recolha como na remoção de contaminantes (pedras, areia, etc.).

- Limpeza de matos – cujo objectivo é controlar a concorrência hídrica e diminuir a massa combustível, reduzindo o risco de incêndio. O aproveitamento energético do substrato arbustivo pode tornar-se interessante, tendo em conta o elevado poder calorífico comparativamente com os resíduos provenientes das espécies arbóreas e caso a densidade energética, entre outros factores sejam compensatórios.

As diferentes técnicas de controlo de matos em povoamentos florestais devem ser adaptadas às características da estação e da espécie, tendo em conta principalmente a sua tolerância ao ensombreamento. Esta operação pode ser efectuada por meios manuais e motomanuais; mecânicos através de corta-matos, destroçadores e grades de disco; fogo controlado ou pastoreio. Pode ser utilizado um método ou a combinação de vários, permitindo jogar com as vantagens de cada um, e adaptando-os às características do povoamento e da estação (para mais detalhes ver Ferreira *et al.*, 2006 a,b,c; Ferreira *et al.*, 2001).

Gestão de parques e jardins urbanos (gestão municipal) - também contribui para a produção de biomassa residual através de operações de limpeza e desramação mencionadas anteriormente (Netto, 2008);

A indústria transformadora da madeira - produz resíduos e serrim, aparas e cavacos estimados em 200 mil toneladas por ano, que podem ser valorizados energeticamente (ADENE e INETI, 2001).

Igualmente as indústrias de pasta de papel valorizam a biomassa florestal residual na produção de calor e electricidade, com ou sem cogeração, para consumo próprio e o excedente é vendido à rede eléctrica nacional (CELPA, 2008).

O fornecimento de biomassa residual pode ainda ser assegurado pelos resíduos agrícolas, por exemplo, o bagaço de azeitona ou de cana-de-açúcar, resíduos da poda das vinhas e de outras árvores de fruto, casca de arroz, etc.

Um último aspecto importante de ser destacado, nesta temática da produção de biomassa para energia é: a competição pela terra e a possibilidade dos terrenos agrícolas virem a ser florestados, motivada pelas novas oportunidades na exploração florestal.

Este facto é uma realidade distante (CBE, 2011). Em primeiro lugar, as culturas agrícolas representam um rendimento anual e os rendimentos obtidos pela exploração da BFR, nas situações actuais do mercado, não deverão dar um incentivo suficientemente atractivo para que um proprietário pondere a alteração do uso que faz da terra. O rendimento líquido do produtor pode ser cerca de 0,14-0,85€/GJ (Bradley, 2007) e considerando a descontinuidade da receita, não é comparável com as receitas que podem advir da exploração agrícola.

O problema de competição pode, no entanto colocar-se na utilização do recurso biomassa seja rolaria ou resíduos da indústria, entre usos de maior valor acrescentado (pasta e papel, aglomerados, serração, etc.) e a produção de energia. Dado que a BFR, na forma de ramos ou cepos, não tem qualquer aproveitamento, a não ser o aproveitamento para fins energéticos, não se pode falar de competição para essa fracção em particular.

3.2 LOGÍSTICA

As operações de logística incluem a colheita, transporte e armazenamento da biomassa, de modo a garantir o abastecimento da unidade transformadora de energia.

Este conjunto de operações tem que ser adaptados segundo as diferenças encontradas nos vários tipos de povoamento, nomeadamente a dimensão e topografia das parcelas de intervenção, densidade e estado da rede viária, características do centro de consumo, eficiência, impacte ambiental produzido etc. Obter o mais baixo custo por unidade energética é um objectivo frequente, pelo que a escolha do equipamento e do modelo logístico deve ser abordado desde a origem até ao consumidor final.

3.2.1 Transporte Primário

Transporte primário, extracção, ou recheça significam a operação de transporte por caminho florestal do local de abate ou corte da BFR até ao carregadouro. A distância máxima a percorrer para este tipo de situação depende do tipo de sistema adoptado (processamento da biomassa no local ou no carregadouro por exemplo), depende do tipo de impactes causados, das condições do terreno e da estrada, etc. Num estudo do uso sustentável de biomassa florestal para produção de energia realizado na zona nórdica e báltica da Europa (projecto WOOD-EN-MAN, IN: Roser *et al*, 2008), foi referido que a distância máxima a percorrer com a recheça deve ser inferior a 500 metros.

Esta operação pode ser efectuada por tractores agrícolas ou florestais, por um *forwarder* (figura 9) ou por camião.

Os *forwarderes* são as máquinas que apresentam maior produtividade e eficiência (CBE, 2004; VTT, 2001). Caso a exploração de BFR inclua o aproveitamento de árvores inteiras, pode-se recorrer neste caso específico a máquinas especializadas (*skidders*- figura 10) que arrastam um conjunto de árvores inteiras ou troncos até ao carregadouro.

Ainda existem outras opções, nomeadamente o uso de máquinas equipadas com cabo-grua, adaptadas a locais com declive elevado.



Figura 9 – Forwarder (fonte:

http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/a/a1/Timberjack_Forwarder.jpg)



Figura 10 - Skidder (Fonte: <http://home.furb.br/erwin/colheita/skidder.jpg>).

3.2.2 Processamento

As operações de processamento realizadas especificamente para o aproveitamento da BFR são: a trituração ou estilhamento, a crivagem e o enfardamento.

No entanto existem outras operações como a desrama, as podas, a limpeza de matos, o descasque, que fazem parte dos sistemas de exploração BFR na sua fase inicial, que contudo não vão ser aqui consideradas por não serem específicas destes sistemas, estas operações tem que ser associadas à exploração dos povoamentos florestais, que tem como objectivo comercializar rolaria, a produção de fruto ou cortiça, e que contribuem para uma boa gestão florestal.

3.2.2.1 Trituração

A trituração ou estilhamento tem como função transformar a matéria-prima num produto final regulamentado ou padronizado. Esta operação permite que o manuseio, transporte e conversão da BFR para energia seja realizada de um modo eficiente.

Esta operação é constituída pela alimentação e pela trituração efectiva do material. A alimentação dos trituradores pode ser feita com gruas integrada na máquina ou através de uma máquina separada. A utilização de duas máquinas na operação de trituração pode representar por si só uma desvantagem, até porque exige mais operadores, no entanto tem a vantagem de poder recolher biomassa de locais mais afastados em relação ao triturador.

Outro aspecto muito importante aquando da escolha do tipo de tecnologia a usar no processo de trituração é a mobilidade do aparelho. Uns podem ser rebocados por máquinas e processar o material no terreno, outros funcionam fixos nos carregadouro.

A vantagem da utilização de trituradores móveis é que estes podem triturar e transportar resíduos com densidades elevadas com apenas uma máquina e um operador em funcionamento, estão limitados a terrenos relativamente planos e em termos de potência, pois caso não tenham motor próprio, estão dependentes da tomada de força da máquina que o reboca (Hakkila, 2004).

As tecnologias mais usadas para a trituração são: o estilhamento por facas e por martelos.

O estilhamento por facas é mais apropriado para matérias mais homogéneas, como árvores inteiras e funciona da seguinte forma: a biomassa a estilhaçar é colocada no tambor do estilhador, onde as facas produzem a trituração do material lenhoso, condicionada pela potência do motor e pelo processamento do jogo de facas. A figura 11 ilustra um modelo de estilhador e a figura 12, mostra o resultado de uma trituração com uma máquina de facas.

O estilhamento por martelos é o processo mais apropriado para matérias-primas mais heterogéneas, apresentando-se mais eficiente para os resíduos florestais, pois são mais robustos e permitem processar materiais com contaminantes. O modo de funcionamento deste tipo de máquina é muito similar ao de estilhamento por facas e, em vez de existir um órgão de corte (faca), existe um órgão de destroçamento mecânico (martelo). A figura 13 mostra a representação esquemática de um estilhador a martelos, enquanto a figura 14 ilustra o resultado de trituração com estilhador a martelos.



Figura 11 – Estilhador de facas, equipado com guincho – permite remover e levantar toros até 0.9 toneladas para cima da mesa de alimentação, reduzindo a necessidade de levantamento manual do operador ou de levantamento mecânico com outra máquina.

(fonte:www.vermeer.pt/pdf/processamento_arboricola/Vermeer_Processamento_Arboricola.pdf).



Figura 12 - Estilha resultante de uma trituração com uma máquina de facas (Fonte: www.barkdelivered.com).

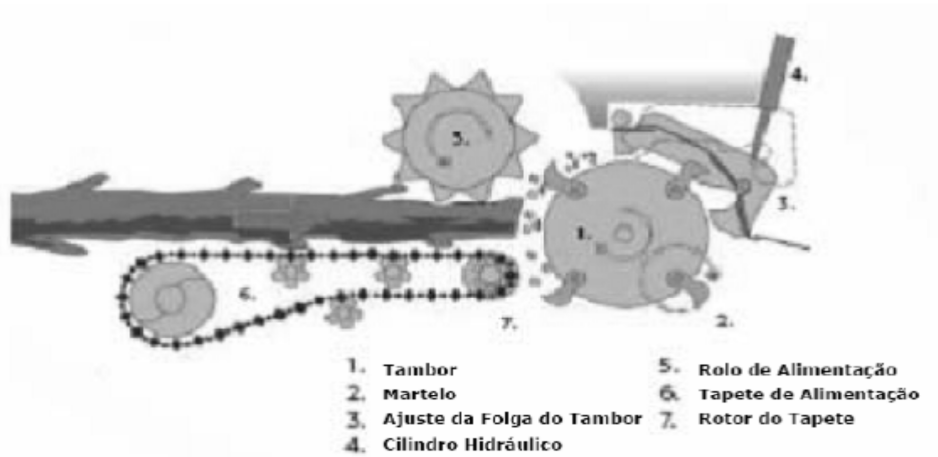


Figura 13 – Aspecto do funcionamento de um estilhador de martelos (Fonte: Willibald,2007)



Figura 14 – Estilha resultante de uma trituração com martelos (Fonte: www.bmandm.com)

A alimentação destas máquinas pode ser feita frontalmente ou por cima. No último caso, pode representar uma desvantagem no processamento de BFR que possa conter rolaria, devido à reduzida dimensão da entrada de alimentação (MacDonald, 2007).

Para além destes dois tipos de trituradores, existe ainda destroçadores de parafuso sem fim (tapered screw) e de disco enrolado em espiral, que produzem uma estilha com partículas de dimensões entre 50-250 mm (Simões, 1999). No entanto, pelo tipo de estilha produzida, não são comuns nos sistemas de exploração de BFR.

Como já referido anteriormente a estilha é um produto que resulta do destroçamento de resíduos florestais e madeira, podendo ser proveniente de locais diferentes, desde a floresta até indústria, têm a possibilidade de uma aplicação variada, desde o

aquecimento de habitações até à produção de energia em centrais dedicadas. Contudo no sentido de modernização da combustão, assim como a necessidade da competição no mercado energético surge o conceito de biomassa densificada.

Tal como o nome indica, a biomassa densificada consiste numa aglomeração e junção da mesma, e resulta em dois tipos: *pellets* e *briquetes*: as *pellets* apresentam-se em pequenas parcelas de condensados ao passo que as *briquetes* em forma semelhante a toros de árvores. A densificação em forma de pellets tornou possível o aumento da homogeneidade e transporte das mesmas ao destino (Kanury, 1994), permitindo que estas apresentem uma elevada massa específica aparente assim como uma taxa de combustão competitiva com a do carvão, e através de uma queima mais eficaz com uma emissão de partículas reduzida (Wether *et al*, 2000).

A tabela 2 evidencia as principais diferenças entre os valores médios relativos a determinados parâmetros da estilha e das pellets.

Parâmetros	Peletes de madeira	Estilha de madeira seca
Poder calorífico	17.0 GJ/ton	13.4 GJ/ton
- por kg	4,7 kWh/kg	3,7 kWh/kg
- por m ³	3077 kWh/ m ³	744 kWh/ m ³
% de humidade	8 %	25 %
Densidade	650 kg/m ³	200 kg/m ³
% de cinzas	0.5 %	1 %

Tabela 2 – Comparação estilha vs pellets (Fonte: CBE, 2002)

Verifica-se da análise da tabela que o uso de estilha se torna menos vantajoso uma vez que ocupa o triplo do espaço das pellets, produz mais cinzas durante a combustão e contém cerca de ¼ da energia contida em igual quantidade (volume) na pellets. A grande vantagem no uso da estilha revela-se quando esta é um resíduo que anteriormente era desperdiçado podendo-se tornar num bom aproveitamento como combustível.

Contudo o processo de peletização origina custos, e gastos energéticos, necessários que têm que ser contabilizados aquando da comparação do tipo de combustível a ser usado. Este processo de peletização poderia ser englobado nas operações de processamento da BFR, caso a finalidade fosse obter *pellets* como combustível ao invés de usar a estilha. No entanto não é objectivo desta tese comparar as diferenças e as vantagens do uso de

estilha ou pellets. No caso de estudo abordado mais adiante, o tipo de combustível assumido a ser usado foi a estilha, como tal não se fará aqui referência às etapas envolvidas no processo de peletização. Para mais informações acerca deste assunto ver Alakangas (2002).

3.2.2.2 Crivagem

A crivagem é uma operação utilizada após a trituração para remover contaminantes, como pedras e areia. Por norma, este tipo de operação só se realiza após a trituração de cepos, devido à elevada contaminação do material. Para obter uma estilha de qualidade aceitável, é necessário proceder-se a duas crivagens, primeiro com um crivo mais largo e depois com um crivo mais apertado.

3.2.2.3 Enfardamento

O enfardamento é um processo que consiste na compactação de biomassa, com o objectivo de aumentar a densidade aparente deste material. É uma operação para minimizar os custos no processamento da BFR, melhorar o manuseio, o condicionamento e o armazenamento (Hakkila, 2004). Este processo necessita contudo de um período de teste para desenvolver máquinas mais produtivas (Karha & Vartiamaki, 2006). A utilização deste tipo de tecnologia faz mais sentido em resíduos compostos por matos ou ramos e folhas de pequena dimensão, onde a densidade é bastante baixa.



Figura 15 – Máquina para produção de fardos montada num forwarder (fonte: Hakkila, 2004)

3.2.3 Transporte Secundário

Entende-se como transporte secundário, o transporte que é feito desde o carregadouro até à unidade consumidora. Pode ser feito por tractor com reboque atrelado ou camião, dependendo da distância a percorrer. O tractor, devido à reduzida velocidade e carga, é apenas utilizado para trajectos curtos, no máximo de 10 km de distância. Para distâncias superiores, o transporte a ser usado é o camião.

As distâncias a percorrerem, tal como no transporte primário são condicionadas por factores económico-financeiros. Um estudo realizado acerca do uso sustentável da biomassa florestal para produção de energia, realizado nos países nórdicos e bálticos da Europa (projecto Wood-En-Man, IN: Roser *et al*, 2008), concluiu que em média a distância máxima a percorrer aquando do transporte secundário não deve de ultrapassar 100 km.

O volume dos camiões está normalmente situado entre os 70-90 m^3 , o que permite transportar entre 16 – 26 toneladas de BFR, dependendo do acondicionamento e da humidade (Netto, 2008).

A carga dos camiões pode ser feita através de uma grua hidráulica, directamente através do triturador, ou através de uma máquina com grua ou pá dianteira. Quanto à descarga,

os camiões que não tem basculante ou chão rotativo têm que recorrer ao auxílio de outra máquina.

Um sistema que permite uma maior autonomia entre as máquinas, evitando tempo de espera, mas que exige maior investimento e espaço é o uso de contentores, estes é deixado à beira da estrada ou num outro local à medida que o triturador os vai enchendo para mais tarde serem recolhidos pelo camião.

Uma outra opção para o transporte secundário é o comboio, no entanto apesar de esta alternativa apresentar vantagens a nível de custos, em Portugal a rede ferroviária actualmente não tem estrutura para poder fazer este tipo de transporte. Para além disso as distâncias de abastecimento são facilmente cobertas por estrada.

Num contexto internacional é possível transportar biomassa por via marítima. De facto Portugal tem vindo a exportar BFR a partir dos portos de Aveiro e Sines, através de navios com capacidades para 5000 – 6000 toneladas de BFR, tendo como destino principal a Itália (Andrade, 2007).

O transporte secundário é a última operação antes de entregar a BFR à porta da unidade consumidora. Dado este facto, há que considerar dois aspectos fundamentais como a humidade e os contaminantes do produto transportado. Em relação à humidade existe a vantagem de deixar secar a biomassa no carregadouro, para obter melhores preços de venda, prémios e evitar penalizações (sistema adoptado na central de Mortágua – em que se estabelece uma relação entre o preço oferecido da BFR e a percentagem de humidade). A BFR se deixada a secar a temperatura ambiente, dependendo da altura do ano e conseqüentemente das condições meteorológicas, pode perder humidade de um modo significativo. Para além disso e como veremos com maior detalhe no capítulo seguinte, a secagem da BFR no terreno pode representar vantagens do ponto vista ambiental, contribuindo para um balanço mais equilibrado do ciclo de nutrientes no solo. Os nutrientes estão maioritariamente presentes nas folhas, tanto nas espécies arbóreas como arbustivas, assim, com a secagem no terreno vai existir uma menor percentagem de recolha desses materiais de pequena dimensão, devido a estas facilmente caírem aquando da sua recolha por se encontrarem mais secas. Conseqüentemente existirá uma menor percentagem de recolha de nutrientes importantes para o desenvolvimento de nova biomassa.

Outra possibilidade é deixar a BFR previamente triturada secar no carregadouro ou local de consumo, esta opção apresenta a desvantagem da possibilidade de existir problemas de fermentação na pilha, devido ao aquecimento excessivo, e extraí uma maior quantidade de nutrientes.

O segundo aspecto a considerar prende-se com a quantidade de contaminantes. O problema é particularmente importante na comercialização de estilha de ceptos. Contudo a BFR pode também ser contaminada na operação de carga e descarga, assim sendo a melhor opção caso seja possível, para evitar esta situação é fazer o carregamento da estilha directamente do triturador para o camião. Esta questão dos contaminantes é bastante importante, pois os consumidores relacionam o preço oferecido com o grau de contaminantes, uma vez que os inertes causam problemas operacionais nas caldeiras.

3.3 SISTEMAS DE EXPLORAÇÃO DE BIOMASSA FLORESTAL RESIDUAL

O sistemas de exploração de BFR podem variar na sua essência quanto:

- Às técnicas e tecnologias usadas;
- Quanto ao tipo de material a processar (ramos e bicadas, árvores inteiras, ceptos, matos, etc.);
- E quanto ao local escolhido para a realização da trituração.

Seguidamente serão apresentados alguns dos mais importantes sistemas de exploração de BFR.

3.3.1 Recolha e transporte de biomassa no terreno, sem pré-processamento.

Este método consiste em recolher e efectuar o transporte de biomassa sem que esta passe por nenhum processo de compactação, nem de estilhamento (Figura 16).



Figura 16 – Recolha de BFR sem pré-processamento (fonte: Enersilva, 2007)

Este sistema pode ser dividido por sua vez em 3 subsistemas:

1. Transporte de biomassa sem processamento até ao carregadouro;
2. Transporte de biomassa sem processamento até unidade consumidora;
3. Transporte biomassa sem processamento até parques de pré-tratamento.

O primeiro caso é o mais comum dos sistemas de exploração de BFR. Consiste em transportar a BFR até a um local com acessibilidade razoavelmente boa, para posteriormente ser triturada e carregada para camiões. Tem como principal vantagem o uso de um triturador mais robusto, que pode alimentar directamente um camião ou um contentor (figura17).



Figura 17 – Processamento de biomassa no Carregadouro (fonte: Goes, 2007)

O segundo caso, é o extremo oposto do caso referido anteriormente, consiste em transportar a biomassa não triturada até à unidade consumidora onde será convertida em energia. Actualmente, este método é cada vez menos utilizado, uma vez que o transporte é caracterizado por um peso de carga inferior ao de outros processos, o que faz com que se torne mais caro. Assim, o transporte de biomassa no terreno é apenas aconselhável a distancias muito reduzidas (10 a 15km), entre a floresta e os centros de consumo.

Por último o transporte de BFR sem processamento até a um parque de pré-tratamento é o meio-termo entre os outros dois subsistemas referidos. A grande vantagem deste subsistema é que permite que o parque actue como plataforma logística, regulando as quantidades oferecidas, ajustando a oferta e a procura em termos de tempo. De uma forma generalizada, as principais operações que se podem levar a cabo nos parques de pré-tratamento são: armazenamento da matéria-prima, trituração e secagem natural ou forçada.



Figura 18 – Processamento de biomassa no Parque Pré-tratamento (fonte: Goes 2007)

3.3.2 Processamento de biomassa no local

Esta operação é realizada junto aos espaços florestais utilizando estilhaçadores móveis (figura 19). A biomassa posteriormente é transportada em forma de estilha para os locais de consumo, ou para unidades intermédias. Este processo é vantajoso desde já em dois sentidos: permite a biomassa secar no local, melhorando as suas características; e é também vantajoso ao transporte da biomassa, uma vez que esta se encontra mais densificada, reduzindo assim os custos com o transporte.

Outro factor a ter em conta neste sistema é que procede a duas operações em simultâneo (trituração e transporte primário), contudo o sistema de trituração é relativamente frágil e só pode ser implementado em terrenos planos e para distância de transporte curtas.



Figura 19 – Processamento de biomassa no Local (fonte: Goes 2007)

Na bibliografia disponível, vários autores referem outro tipo de sistemas de exploração de biomassa, neste trabalho foram apenas referidos os sistemas que apresentam maior interesse para aplicação no caso de estudo apresentado mais à frente.

3.4 TECNOLOGIAS DE CONVERSÃO

Existem várias tecnologias de conversão da energia química da biomassa em calor ou energia eléctrica, como produtos finais.

As tecnologias podem ser divididas em tecnologias de conversão primária ou secundária. Após a conversão primária da biomassa combustível, é que são necessárias as tecnologias de conversão secundária (figura 20) que permitem a produção combinada de calor e de electricidade.

3.4.1 Combustão

A combustão consiste na oxidação total da matéria orgânica da biomassa efectuada a altas temperaturas (800-1000°C, dependendo da humidade), utilizando o ar atmosférico, em excesso, como agente oxidante, e libertando calor, CO_2 , vapor de água e cinzas (Carrasco, 2001). Na realidade, o processo de combustão é constituído por uma sequência de fases (GSES & Ecofys, 2005):

- Aquecimento e secagem: fase em que o combustível é aquecido (<100°C) e em que a água passa a vapor (100-150°C);
- Decomposição pirolítica: trata-se da decomposição dos componentes de cadeia longa e que ocorre entre os 150-230°C. A decomposição é pirolítica porque se dá na ausência de oxigénio;

Estas duas fases são endotérmicas. A partir dos 230°C começam a ocorrer as reacções exotérmicas que requerem oxigénio;

- Gaseificação do combustível seco: a decomposição térmica do combustível seco sob influência do oxigénio começa perto do ponto de ignição, próximo dos 230°C. A gaseificação ocorre principalmente na gralha de combustão até aos 500°C;
- Gaseificação do carvão sólido: sob influência do CO_2 , água e oxigénio, é gerado monóxido de carbono combustível. Esta fase, que ocorre entre os 500-700°C, liberta luz e raios de calor que tomam a forma de chama visível;
- Oxidação dos gases combustíveis: a fase final da combustão consiste na oxidação de todos os gases combustíveis resultantes dos processos anteriores e dá-se entre os 700-1400°C. Sob influência do ar secundário, dá-se a combustão limpa e completa da mistura gasosa.

A conversão de biomassa em calor tem uma eficiência de 85-90%, enquanto a eficiência de produção de energia eléctrica é de 17-25% (Rosillo-Calle *et al*, 2007).

Existem três factores importantes que determinam a eficiência do processo: o tempo, necessário para que as fases de aquecimento e pirólise ocorram; a temperatura, para que os processos ocorram mais rapidamente; e a turbulência, para que haja uma mistura completa dos gases combustíveis e oxigénio, assegurando uma combustão completa (Sims, 2002).

Dado que a eficiência na produção de electricidade das centrais é muito baixa, quando comparada com a produção de energia a partir de outros combustíveis, a cogeração é uma oportunidade que consiste no aproveitamento do calor residual para o aquecimento das próprias instalações da central ou, criando uma rede de distribuição das habitações que possam estar situadas nas redondezas. Quanto a soluções exclusivas para o aquecimento, os equipamentos actuais permitem ter eficiências entre os 70 – 90% e uma redução muito significativa das emissões, quando comparados com as lareiras tradicionais (Faaij, 2006).

A biomassa pode ser queimada conjuntamente em centrais alimentadas a carvão para obter energia eléctrica, num processo designado por co-combustão. Este processo tem os benefícios de ter eficiências de produção de energia eléctrica superiores às centrais dedicadas, permitir às centrais de carvão eliminar as suas emissões de CO_2 , e reduzir as de NO_x e SO_2 (Veijonen *et al*, 2003, Rosillo-Calle *et al*, 2007). Os grandes entraves ao desenvolvimento da co-combustão são o elevado investimento inicial, o aumento dos custos de operação e a dificuldade na logística do abastecimento por se tratar de grandes quantidades de biomassa, quer se trate de uma substituição de 5% ou de 15% (Barrientos, 2007).

3.4.2 Gaseificação

A gaseificação é um processo de combustão incompleta, através da combustão da biomassa com quantidades de ar inferiores às do equilíbrio estequimétrico. O processo produz um gás combustível constituído por uma mistura de metano, hidrogénio, monóxido e dióxido de carbono, e vapor de água, sendo que o poder calorífico do gás varia entre 4 – 40 MJ/m^3 , conforme o agente oxidante (McKendry, 2002).

É uma tecnologia mais exigente que a anterior, uma vez que as características da biomassa combustível, em particular o teor de humidade e a dimensão das partículas, afectam a composição do gás.

3.4.3 Pirólise

A pirólise constitui um processo de decomposição térmica, em que um determinado material carbonáceo, sólido, é transformado em gases, líquidos e sólidos (McKendry, 2002b).

Se a fonte de calor não for deficiente em oxigénio, verifica-se a combustão do material carbonáceo, libertando-se uma elevada quantidade de calor e reduzindo-se significativamente o valor calórico dos gases de pirólise formados. Uma fracção do material carbonáceo pode transformar-se em combustível líquido, em especial quando a temperatura não atingir valores muito superiores a 450°C. A fracção líquida, denominada bio-óleo, pode ser utilizada na combustão em motores e caldeiras, e tem um poder calorífico de 20-22 MJ/l (Carrasco, 2001).

A temperatura de pirólise, a taxa de aquecimento aplicada e a composição do material sujeito ao tratamento, determinarão, conjuntamente, a constituição do gás de Pirólise no processo.

Se, pelo contrário, a pirólise for efectuada recorrendo à formação do estado de plasma (gás ionizado), ou seja, em condições elevadas de temperatura e pressão, a fase líquida é eliminada e é obtida apenas uma fase gasosa (gás de pirólise) e uma fase sólida (cinzas que são depositadas no fundo do reactor). De acordo com as situações anteriores, qualquer produto (incluindo resíduos), contendo composto orgânicos, é conversível em gases de pirólise e uma mistura de metais e de vidro refractário, pela chama de gases ionizados, cuja temperatura atinge valores entre 4000 a 7000°C. Durante a pirólise as elevadas temperaturas do plasma incandescente conduzem à destruição das moléculas mais complexas presentes, nomeadamente, de dioxinas e furanos. Por outro lado, ocorre formação de cinzas que podem ser fundidas conjuntamente e se depositarem no reactor. Esta tecnologia está, contudo ainda em fase de demonstração (Rosillio & Calle *et al*, 2007).

4. SUSTENTABILIDADE DOS SISTEMAS DE EXPLORAÇÃO DE BIOMASSA RESIDUAL

Neste capítulo pretende-se enquadrar o aproveitamento da biomassa florestal residual (BFR) para a produção de energia nas perspectivas ambiental e económica.

O capítulo irá abordar primeiro a sustentabilidade a nível ambiental dos sistemas de BFR, e seguidamente irá ser feita a abordagem económica e social, por último será referido uma metodologia de exemplo no apoio à tomada de decisão tendo em conta os prós e contras inerentes à exploração de biomassa para energia.

Na abordagem ambiental serão considerados:

- Os efeitos da colheita de BFR na produtividade florestal a curto e longo prazo;
- As possibilidades e riscos do uso de cinzas para reciclagem;
- As pragas de insectos e a relação destas com a colheita de BFR;
- Os principais efeitos do uso de BFR na biodiversidade;
- Os fluxos de energia e GEE nos sistemas de BFR.

4.1 SUSTENTABILIDADE AMBIENTAL

As cadeias de bioenergia florestais devem ser geridas de forma sustentável, e a produção na floresta, transporte, combustão e a distribuição devem ser realizadas em consonância com os princípios do desenvolvimento sustentável. Muitos dos desenvolvimentos internacionais relacionados com sustentabilidade são relevantes para a produção florestal e uso de bioenergia. A base geral para estes desenvolvimentos internacionais é a definição de desenvolvimento sustentável a partir do relatório Brundtland: “Desenvolvimento sustentável é o desenvolvimento que satisfaz as necessidades do presente sem comprometer a capacidade das gerações futuras satisfazerem as suas próprias necessidades” (WCED, 1987). Especialmente relevante no contexto deste trabalho é a definição frequentemente citada de gestão florestal sustentável das resoluções de Helsínquia, HI (UN, 1992): “Gestão sustentável significa

a administração e o uso de florestas e áreas florestais de uma forma e a um ritmo que mantenha a sua biodiversidade e produtividade, a regeneração, vitalidade, capacidade e potencial para desempenhar, agora e no futuro, as funções pertinentes ecológicas, económicas e sociais, aos níveis local, nacional e global, e que não cause danos a outros ecossistemas”.

Posto isto, a análise dos impactes ambientais destes sistemas, é central para garantir a sustentabilidade.

4.1.1 Efeitos da colheita muito intensiva de BFR na produtividade do local a curto e médio prazo

A intensificação da utilização da biomassa florestal causa exportação de quantidades substanciais de nutrientes do ecossistema florestal. Comparado à colheita convencional de apenas troncos, o cenário de colheita de biomassa mais intenso provoca aumento das exportações de nutrientes de até 6-7 vezes mais, ao passo que as exportações de biomassa aumentam apenas até 2 vezes (Stupak *et al.* 2007 a). As altas concentrações de nutrientes em pequenos ramos, galhos e folhas em relação aos troncos/caules são a principal razão.

O método do balanço de nutrientes têm sido usado para quantificar o efeito da intensificação da extracção de biomassa no estado de nutrientes do ecossistema por exemplo em, Adams *et al.* (2000), Watmough & Dillon (2003) entre outros. Tais estudos têm demonstrado uma diminuição, a nível de nutrientes e de matéria orgânica, relacionados com a exportação de biomassa. O cálcio e o nitrogénio têm estado muitas vezes em foco no balanço de nutrientes.

Uma diminuição nas reservas do solo pode, por si só, não ser crítica, enquanto o nível for muito acima do nível crítico limite, mas o saldo negativo de nutrientes pode ser interpretado como um aviso para efeitos de longo prazo.

4.1.1.1 Fluxos de nutrientes nos ecossistemas florestais

Na floresta os nutrientes do ecossistema são cíclicos, em um ciclo relativamente fechado. Em todo o ecossistema florestal o balanço quase que existe entre a captação e a decomposição. (Ulrich 1987).

O fluxo de nutrientes pode ser resumido em uma equação de balanço de massa abaixo indicada (equação 6). A figura 21 é representativa das trocas ocorridas:

$$\Delta \text{biomassa} + \Delta \text{solo} + \Delta \text{fluxo atmosférico} + \Delta \text{fluxo de escoamento} = 0$$

Equação (6)

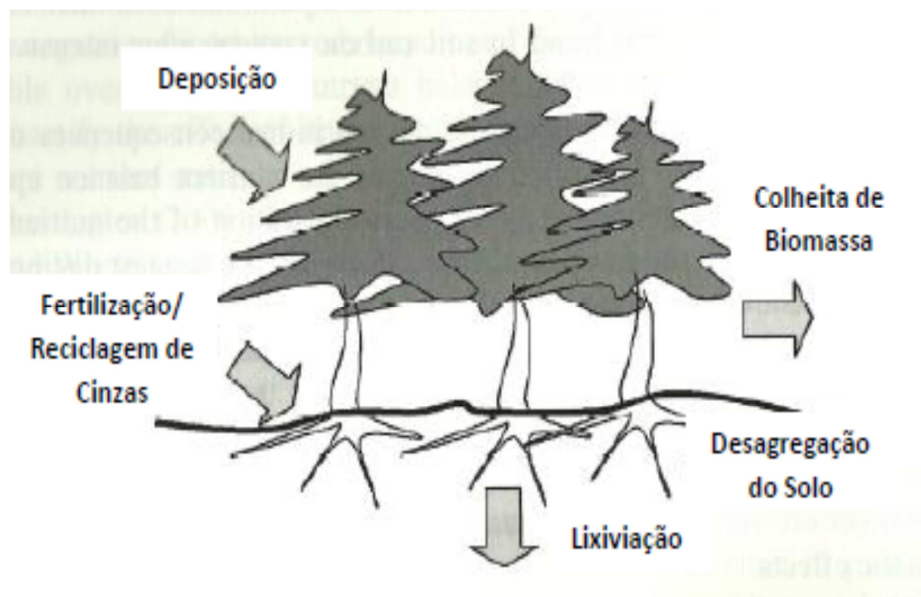


Figura 21 – Fluxo de nutrientes de e para um ecossistema florestal (Fonte: Adaptado de Dominik Roser *et al* 2008).

É importante referir que os balanços de nutrientes contabilizados na bibliografia disponível devem ser alvo de cautela, pois os métodos de cálculo mais avançados possuem um alto grau de incerteza.

De todos os “inputs” e “outputs” envolvidos no balanço de nutrientes interessa particularmente analisar no âmbito deste trabalho a – remoção de nutrientes na colheita de biomassa florestal.

Nem todos os nutrientes da biomassa estão imediatamente disponíveis para absorção. Parte dos nutrientes da biomassa são reciclados de uma forma relativamente rápida por

meio da decomposição de serapilheira e raízes finas, (Parton *et al*, 2007) e a outra parte é libertada mais lentamente através da decomposição de resíduos lenhosos (Laiho & Prescott, 2004). Tendo isto em conta pode-se assumir que numa floresta onde exista colheita de BFR, uma grande parte dos nutrientes de biomassa são fluxos de saída do ecossistema. Tal facto pode condicionar a produtividade de um local tanto a curto como a longo prazo, dependendo da capacidade de regeneração do local em causa e da intensidade de utilização dos recursos disponíveis.

Diferentes métodos são propostos para equilibrar a compensação entre a colheita de BFR e a remoção de nutrientes do solo. Tem sido proposto que parte da BFR seja deixada na floresta, até mesmo porque não é rentável a recolha de toda a biomassa disponível, também é recomendado a pré-secagem no terreno.

Moller (2000) e Stupak *et al* (2007 b) constataram que 30-60% do nitrogénio, fósforo e potássio, e 20 a 30% do cálcio e magnésio poderiam ser mantidos na floresta caso seja feita a pré-secagem no terreno, sendo a correspondente redução na colheita de biomassa menor que 20%.

Tendo em conta estes factos torna-se necessário fazer uma avaliação da produtividade a longo prazo e determinar as possíveis consequências da colheita muito intensiva de BFR. Só assim – conhecendo os factores limitativos de produção e regeneração para cada caso em particular - será possível tomar as medidas necessárias para manter a exploração e gestão florestal sustentável.

O problema é, como fazer essa avaliação?

Vários métodos para avaliação de consequências a longo prazo na produtividade de um local perante a colheita intensiva de biomassa têm sido sugeridos (Wei *et al*. 2003). O método experimental directo propõe a avaliação do rendimento a nível de produção ao longo de um intervalo de tempo. Portanto, é feita a comparação entre a diferença de respostas de um determinado meio à “colheita convencional de apenas o tronco” vs “colheita intensiva, incluindo BFR” ao longo de um período de tempo.

Numerosas experiências deste tipo têm sido realizadas na Europa e América do Norte e algumas destas tem demonstrado resposta de crescimento negativa após colheita bastante intensiva (Egnell & Valinger, 2003; Proe *et al*, 2000). Outras experiências mostraram ausência de resposta na produtividade após colheita bastante intensiva (Jacobson *et al*, 2000).

Embora o método experimental directo forneça a resposta final a respeito da reacção da produtividade, a abordagem por si só ainda tem várias deficiências para a previsão. Há que ter em conta que a resposta do terreno é bastante específica, e a resposta à colheita intensiva pode ocorrer depois de períodos muito curtos a períodos de tempo muito longos de utilização consoante as características do local em causa.

O estudo feito sobre a sustentabilidade do uso de BFR para energia nos países nórdicos e bálticos na Europa determinou, que a melhor estratégia a adoptar para fazer a avaliação da produtividade e determinar as consequências da colheita muito intensiva de biomassa, seria um método que combine: experiências directas incluindo colheita intensiva e adubação para deduzir possíveis limitações nutricionais relacionadas com a taxa de crescimento; com a determinação do balanço de nutrientes e os indicadores do solo (pH, temperatura e profundidade do solo) para determinar e quantificar os principais fluxos de nutrientes da colheita intensiva e a sensibilidade do solo.

Conhecendo a resposta do meio à colheita de BFR, será então possível fazer uma gestão florestal coerente com princípios de desenvolvimento sustentável.

Os efeitos negativos nas taxas de crescimento causados pela colheita intensiva de biomassa podem ser consequência de uma deficiência induzida de nutrientes essenciais, principalmente o nitrogénio (Dominik Roser *et al* 2008). Parece óbvio compensar esta consequência com o uso de fertilizantes e utilização de cinzas provenientes da combustão de biomassa, outra solução possível será condicionar ou até mesmo interditar a colheita de BFR, dependendo da capacidade de resposta do meio.

Dominik Roser *et al* 2008 apontaram um conjunto de compensações a seguir aquando da colheita intensiva de BFR:

- O nitrogénio removido do sistema, devido a intensiva colheita de biomassa deve ser compensado. Em locais com alta deposição ou solos com concentração de nitrogénio muito alto pode ser considerado não compensar, pelo menos por um período. A compensação é óptima num estágio de desenvolvimento da população onde a necessidade é elevada, ou seja, no caso de conclusão da copa. Evitar a compensação antes do abate e logo depois da criação por causa da maior perda de lixiviação. A compensação pode ser feita através de fertilizante convencional.
- O fósforo removido do sistema, devido a intensiva colheita de biomassa deve ser compensado em solos com concentrações baixas de fósforo (solos sensíveis). Em solos

com altos teores de concentração de fósforo pode não ser necessário fazê-lo. A compensação com fósforo pode ser feita através de cinzas pré-tratadas da combustão de biomassa ou por uso de fertilizante convencional.

- A remoção de cátions base devido a intensiva colheita de biomassa deve ser compensada em solos ácidos, ou seja, os solos com pH menor que cerca de 4,7-5,0 a 50 cm de profundidade. Esses os solos são geralmente solos arenosos, com mineralogia pobre (minerais leves). A compensação pode ser feita através de cinzas pré-tratadas de biomassa da combustão ou por uso de rochas calcárias que se dissolvem lentamente e fertilização convencional. Os micronutrientes só devem ser adicionados quando a experiência local indica uma necessidade específica. Na maioria dos casos, o retorno das cinzas de madeira pode prevenir o desenvolvimento da deficiência.

Estas recomendações são baseadas numa combinação de ensaios sobre os efeitos da colheita intensiva, em ensaios de fertilização, e sobre a interpretação do teor de nutrientes, em combinação com o princípio da precaução e os critérios para a gestão florestal sustentável.

Recomenda-se, portanto que os efeitos a longo prazo nos ecossistemas florestais causados pela colheita intensiva de biomassa sejam monitorizados e avaliados permanentemente (Weetman, 1998).

4.1.1.2 **Reciclagem de cinzas de madeira: possibilidades e riscos**

Como já foi mencionado anteriormente o fluxo negativo de nutrientes da floresta resultante da crescente utilização de combustíveis florestais poderá resultar (em solos sensíveis) numa queda de produtividade da floresta pelo empobrecimento e acidificação do solo.

As cinzas de madeira são resíduos sólidos resultantes da incineração de madeira. Devido ao aumento da utilização de combustíveis florestais a produção de cinzas irá aumentar. Grande parte desta cinza é hoje considerada como um resíduo e é depositada em aterros, com um custo considerável. As cinzas de madeira contêm todos os nutrientes minerais importantes com exceção do azoto e tem um efeito alcalinizante, quando retornam ao solo.

A reciclagem de cinzas de madeira para a floresta é um caminho possível para fechar o ciclo de nutrientes e evitar o aumento de acidez do solo.

Portanto, dois problemas podem ser atenuados com a reutilização de cinzas como fertilizante nas florestas: os nutrientes são devolvidos à floresta e o problema dos resíduos é reduzido.

No entanto é necessário considerar também os eventuais efeitos negativos a nível ecológico e ambiental – os riscos e as possibilidades da reciclagem de cinzas de madeira a um nível mais detalhado.

Propriedades das cinzas de madeira

Os principais componentes das cinzas são o cálcio (Ca), potássio (K), magnésio (Mg), silício (Si), alumínio (Al), ferro (Fe) e fósforo (P) (Nilsson & Timm 1983, Steenri *et al*, 1999, Holmroos, 1993).

A cinza é geralmente pobre em nitrogénio (N), porque este é vaporizado durante a combustão.

A cinza têm um efeito alcalino e quando misturado com água, o PH da solução torna-se alto.

Outro aspecto importante a considerar nas propriedades da cinza de madeira é que estas variam consideravelmente em qualidade. A variação pode ser em parte explicada pela composição do combustível, pelo tipo de queimador e condições de incineração, a contaminação dos combustíveis e condições de armazenamento. Em especial a quantidade de carbono (C elementar) devido à combustão incompleta causa grande variação na concentração do elemento expresso por unidade de peso (Hjalmarsson *et al*, 1999).

Uma última particularidade das propriedades das cinzas é as diferenças na solubilidade dos elementos presentes nas cinzas. A solubilidade dos macronutrientes presentes nas cinzas diminui na seguinte ordem: K>Mg>Ca>P (Eriksson, 1998 b). Portanto aquando da aplicação de cinzas como fertilizante, a disponibilidade de K para a alimentação da nova biomassa, vai aumentar rapidamente, a adição de P não resultará num aumento imediato da disponibilidade, o P das cinzas só estará disponível para as plantas depois de algum tempo.

O conhecimento dos elementos presentes nas cinzas e da sua solubilidade, permitirá elaborar planos de fertilização compensatória mais equilibrados.

Riscos e contaminação

Todos os combustíveis de biomassa contém metais pesados, mas em baixas concentrações. Desde que as quantidades de metais pesados nas cinzas não sejam maiores do que aquilo que é exportado através dos produtos florestais colhidos, a reciclagem de cinzas de madeira não resultará num aumento dos níveis de metais pesados na floresta se administrada em doses que correspondem à exportação de nutrientes.

No entanto, a disponibilidade de metais pesados pode ser influenciada pelo tratamento de cinzas em si, ou porque o combustível está contaminado. Os detritos de madeira da construção são frequentemente contaminados com agentes de preservação de madeira, insecticidas, metais e produtos plásticos (Bockelmann *et al*, 1995). Posto isto é aconselhável, evitar a utilização deste tipo de cinzas para reciclagem, e como medida de precaução devem ser efectuadas análises às cinzas para certificação da qualidade do fertilizante.

Pré- condicionamento antes da reciclagem

As propriedades das cinzas irão mudar durante o seu armazenamento. O CO_2 e a humidade do ar reagem espontaneamente com as cinzas e formam hidróxidos, carbonatos, bicarbonatos e outros minerais (Etiegni & Campbell 1990). A cinza endurecida é menos reactiva e a solubilidade de muitos elementos é reduzida.

Para evitar a curto prazo efeitos negativos causados pela alta reactividade das cinzas, é recomendável algum tipo de agregação. A estabilização espontânea após a adição de água é o método mais simples e barato, a fim de alcançar resultados aceitáveis a cinza e a água devem ser misturados mecanicamente (Lindkvist, 2000).

Efeitos da aplicação de cinza de madeira em árvores

Já foi abordado anteriormente que a aplicação das cinzas resulta num aumento rápido e duradouro do pH do solo nas camadas superficiais. A penetração nas camadas mais profundas do solo demorará mais tempo. A magnitude do efeito está dependente da solubilidade das cinzas e da dose.

As comunidades microbianas respondem de várias maneiras à mudança do PH e por isso, a aplicação de cinzas têm um grande impacto sobre a microbiologia na parte superior do solo. Esses efeitos são uma das razões principais para evitar altas doses e para reduzir a reactividade das cinzas antes de as espalhar.

Agora que dizer dos efeitos da aplicação das cinzas em árvores?

Vários estudos foram feitos com o objectivo de responder a esta questão. Os efeitos de aplicação de cinzas em árvores são variáveis consoante o tipo de solo.

Se se tratar de *solos minerais*, alguns estudos foram conclusivos de que a adição de cinzas de madeira não resulta num aumento significativo ou diminuição do crescimento. O factor limitante para o crescimento das árvores em solos minerais, é na maioria dos casos a disponibilidade de nitrogénio (N) (Tamm, 1991).

Experiências em que azoto foi adicionado isoladamente e em combinação com cinzas de madeira, mostraram que não houve uma resposta extra no tratamento combinado que pode ser atribuída à adição de cinzas de madeira. Em alguns casos o tratamento combinado deu uma resposta mais baixa do que na adição de azoto apenas (Pettersson, 1990, Jacobson, 2003).

Existe a possibilidade de que a aplicação de cinzas de madeira aumente o crescimento das árvores em solos minerais, a longo prazo, mas uma confirmação definitiva só pode ser dada através da monitorização do crescimento da árvore em experiências de campo de longo prazo.

Em *solos de turfa* o efeito da aplicação de cinzas no crescimento das árvores é completamente diferente. Experiências realizadas na Suécia e na Finlândia, mostram que a cinza aumenta o crescimento das árvores e melhora as condições para a regeneração natural da população (Huikari, 1951; Lukkala, 1951, 1955).

Em terrenos (turfa) fertilizados com cinzas de madeira – o crescimento das árvores adubadas pode ultrapassar o seu crescimento pré-adubação em até dez vezes mais e eliminar distúrbios de crescimento (Ferm *et al*, 1992).

Em conclusão a cinza de madeira tem um efeito pouco nítido sobre o crescimento das árvores em solos minerais, mas um efeito positivo significativo em solos de turfa. Efeitos positivos sobre o crescimento da árvore, a longo prazo têm sido indicados em solos minerais, em combinação com a adubação nitrogenada, porém mais estudos necessitam ser efectuados para confirmar esses resultados.

Doses recomendadas

A quantidade de cinza a aplicar como fertilizante, varia consoante: o tipo de solo em causa, os regulamentos existentes e ainda os custos de transporte, pré-tratamento e distribuição de cinzas.

Todos estes factores são muito variáveis consoante as especificidades do local, portanto é recomendando um estudo prévio das características do solo, e uma monitorização e avaliação permanente das causas e efeitos da aplicação de cinzas como fertilizante.

4.1.1.3 Pragas de insectos e biomassa florestal para energia

Muitas espécies de insectos são dependentes da madeira morta para reprodução. Algumas dessas espécies podem ser consideradas pragas florestais, uma vez que degradam a qualidade da madeira e danificam ou matam as árvores vivas. A gestão florestal, incluindo a manipulação de combustíveis florestais, pode influenciar o desempenho de tais espécies, tanto a escala local como regional.

A não remoção de resíduos de madeira, em caso de desbastes, desmatamentos ou outra operação florestal, pode servir como material de reprodução de insectos praga.

Aquando da remoção de resíduos para fins energéticos, antes da colonização por espécies praga, ou antes da nova geração ter surgido, diminui a quantidade de material de reprodução e, conseqüentemente, o risco de ataques subsequentes a árvores vivas.

Tanto a densidade de insectos, como o vigor da árvore influenciam o risco de danos, e uma densidade populacional de insectos é influenciado pela quantidade de material de reprodução. Em altas densidades, o risco de os insectos serem capazes de superar a defesa das árvores aumenta, o mesmo acontece com o risco de mortalidade das árvores.

Se as árvores estão enfraquecidas, ou seja, em baixo vigor, o risco de mortalidade da árvore aumenta, podendo aumentar mesmo com baixas densidades populacionais de insectos praga.

A remoção de combustível florestal da floresta, ou a lascagem logo após a exploração da madeira impede a reprodução de pragas.

Por vezes o combustível florestal é empilhado e armazenado temporariamente junto dos povoamentos. Experiências realizadas provam que estes cenários podem induzir a ataques, caso se tratem de grandes quantidades de resíduos empilhados. Se as quantidades não forem significativas o tipo de danos causado é pequeno e sempre inferior em comparação com a situação sem recuperação do combustível florestal. (Dominik Roser *et al*, 2008).

Assim sendo, quanto à manipulação de combustível florestal, é necessário estar ciente dos perigos iminentes para que se possa evitar percas causadas por pragas de insectos. Mais uma vez é preciso ter em conta as especificidades do local, nomeadamente o tipo de povoamentos e o tipo de pragas existentes, bem como a altura de reprodução destas. Experiências de campo efectuadas durante longos períodos permitirão uma monitorização adequada das pragas de insectos.

4.1.1.4 Efeitos da colheita de biomassa florestal na biodiversidade

A extracção de resíduos florestais, em particular detritos finos como graveto e ramos para combustível florestal, podem representar uma ameaça na biodiversidade. Esta consequência pode ser explicada:

- Pela implícita redução de habitat para vários organismos, especialmente invertebrados e fungos;
- Os resíduos recém colhidos que são armazenados na floresta antes do transporte para os locais de consumo, podem funcionar como armadilhas de madeira para insectos. A maioria deles são insectos móveis que procuram activamente habitats de reprodução acompanhando os seus odores. Uma pilha de resíduos pode portanto, atrair grande número de insectos na fase de reprodução. Após os

insectos terem se reproduzido no material armazenado, este pode ser recolhido para processamento e posterior queima.

- Os animais podem perder abrigo que os resíduos de galhos e ramos podem oferecer. Isso pode ser tanto um abrigo físico, onde os animais vivem e se podem esconder, como um abrigo contra um microclima extremo, principalmente seca ou temperaturas extremas.
- Os organismos a níveis tróficos superiores, como as aves que se alimentam de insectos podem conseqüentemente sofrer ameaça de extinção.
- A diminuição da quantidade de resíduos deixados no solo, conseqüentemente leva, como já foi referido anteriormente a um decréscimo dos nutrientes no solo, que por sua vez pode limitar a sobrevivência de algumas espécies.

O ênfase principal no estudo dos efeitos da colheita de biomassa florestal na biodiversidade é portanto conhecer quais e quantas espécies podem ser afectadas pela extracção de BFR.

Todos os organismos na floresta evoluíram sob condições de floresta natural, ou seja, antes que o homem tivesse quaisquer efeitos drásticos sobre as florestas. Para avaliar quais os organismos que estão potencialmente sob ameaça de práticas de silvicultura, pode ser pertinente comparar a situação no âmbito de diferentes regimes de gerência com a situação natural (Bengtsson *et al*, 2000, Fries *et al*, 1997). A resposta final que se gostaria de obter é uma estimativa quantitativa de quanta biomassa se pode recolher sem efeitos sobre a biodiversidade. No entanto, a diversidade das espécies num local é determinada através de processos de trabalho em escalas muito grandes, tanto em tempo como em espaço. Por exemplo, as distâncias que determinadas espécies de insectos podem percorrer são de vários quilómetros ao longo de um ano. A extinção de uma população é um processo que se processa durante muitos anos, com esta escala de tempo, a escala geográfica para eventual dispersão aumenta. Assim é lógico que as previsões quantitativas sejam extremamente difíceis de se realizar.

Previsões qualitativas são possíveis, isto é com base em características comportamentais de uma determinada espécie consegue-se prever a sua vulnerabilidade à extinção, perante um cenário de colheita de BFR.

Sendo assim, os esforços de conservação de biodiversidade devem ser concentrados em áreas onde a vulnerabilidade da flora e da fauna é maior. Tal facto exige que sejam

definidos os focos de biodiversidade, ou seja é necessário referenciar as zonas mais sensíveis, de modo a que a extracção de combustível seja feita com mais cautela.

Outras recomendações gerais poderão ser feitas no âmbito da preservação da biodiversidade, nomeadamente:

- É importante minimizar a condução de maquinaria pesada aquando da colheita de BFR em locais mais sensíveis;
- A colheita de raízes provavelmente poderá afectar consideravelmente as quantidades de madeira morta na paisagem florestal, e portanto, ter efeitos negativos em determinadas espécies que necessitam de madeira em decomposição para a sua sobrevivência, posto isto a colheita de raízes não deverá ser feita de um modo intensivo;
- Deve-se manter os resíduos de exploração de madeira das populações arbóreas que suportam um maior número de espécies e organismos vivos;
- Não é recomendável a recolha da totalidade da madeira morta fresca e em decomposição em diferentes estágios, pois esta é importante para a biodiversidade, a título de exemplo, a madeira morta mais grossa caída em linhas de água vai permitir criar novo substrato para animais e algas que vivem nas águas (Skogstytelsen, 2001);
- As medidas para biodiversidade são mais eficientes em áreas onde muitas espécies estiverem presentes (Hanski, 2000). Por isso é importante seguir os pontos acima mencionados sobre locais com altos valores de conservação da natureza, em locais em que tais valores são baixos não é necessário tanta cautela.

4.1.1.5 Fluxos de energia e emissões de GEE no uso de biomassa para combustível

Nas análises do balanço energético dos sistemas de produção de energia pretende-se comparar a energia total produzida com a energia consumida nas várias componentes. Nos sistemas de exploração de BFR existe consumo de combustíveis fósseis, na sua maioria gasóleo, no funcionamento de tractores e máquinas de trituração e camiões de transporte. Também tanto nas centrais de produção, ou nos locais de aproveitamento do calor para aquecimento existem consumos energéticos. As entradas e saídas de energia são contabilizadas e avaliadas num indicador que é o rácio energético do sistema. O

rácio energético é definido como o quociente entre a energia produzida e a energia consumida.

Wihersaari (2005), num estudo incidindo sobre cinco sistemas distintos de exploração de BFR num corte final, concluiu que o consumo de combustíveis fósseis representa entre a 2-3% da energia térmica produzida, enquanto Hall (2002) aponta um consumo superior, entre 4-10% da energia térmica produzida. Se considerarmos uma eficiência de conversão em energia eléctrica de 20%, o rácio de energia eléctrica situa-se entre 2-10. Ou seja, os sistemas de exploração de BFR podem produzir entre 2 a 10 unidades de energia eléctrica por cada unidade de energia fóssil consumida (Netto, 2008).

Estes dados são corroborados por Yoshioka *et al* (2005), que estimaram o rácio de energia eléctrica em 5,69.

A comparação destes sistemas com os de produção de electricidade a partir de carvão ou gás natural demonstra que os segundos são, no aspecto de eficiência energética, insustentáveis ao apresentarem rácios de energia inferiores à unidade (Mann& Spath, 2000).

A conversão de biomassa em calor têm uma eficiência de 85-90%, se este calor for aproveitado directamente para aquecimento de águas, espaços interiores ou num processo industrial, ao invés de se produzir energia eléctrica. O rácio energético neste caso se situará entre 8,5 e 42,5, assumindo que se consegue aproveitar 85% do calor produzido da combustão de biomassa. Ou seja, os sistemas de exploração de BFR podem produzir entre 8,5 a 42,5 unidades de energia térmica por cada unidade de energia fóssil consumida.

No que se refere ao balanço de emissões de GEE, os sistemas são considerados neutros em emissões de CO_2 , pelo facto de armazenarem num próximo ciclo de crescimento o carbono emitido na combustão da biomassa. No entanto e tal como já foi mencionado anteriormente neste trabalho, há vários pormenores a ter em conta nesse pressuposto. Numa análise ciclo de vida dos sistemas de exploração, há consumo de energia fóssil e, como tal, existem emissões de GEE que não serão armazenadas no futuro. Acresce ainda que, para além do CO_2 , há emissão de outros gases que contribuem para as alterações climáticas, nomeadamente metano (CH_4) e óxido nitroso (N_2O). Eggleston (2006) estabelece como factores de emissão na combustão de madeira para produção de energia os valores de 30 kg CH_4 /TJ e 4 kg N_2O /TJ.

Numa análise de ciclo de vida, as emissões situam-se entre 54-62kg CO_2 /MWh, incluindo emissões de fertilização para compensação remoção de nutrientes (Wihersaari, 2005) (quadro 3).

Segundo o mesmo autor, as emissões de GEE nos sistemas de BFR representam uma redução de 97-98% das emissões dos sistemas que utilizam combustíveis fósseis, enquanto Hall (2002) refere reduções entre 90-95% em comparação com as centrais a carvão.

Por outro lado, é importante referir que quando a exploração florestal é comparada com a floresta sem intervenção humana, há informação que aponta para reduções do stock de carbono entre 23-38%, sendo estes dados explicados pela alteração na composição das espécies e pela redução da idade média dos povoamentos (Haber & Erb, 2006).

Origem de emissões	Emissões de GEE (kg CO_2/MWh)
Trituração e transporte	4,3-7,5
Combustão	2
Recirculação de cinzas	0,2
Fertilização com azoto	7
Alterações no solo florestal	40-45
Total	53,5-61,7

Tabela 3 – Emissões de GEE nas várias fases dos sistemas de exploração de BFR

(Fonte: Wihersaari, 2005)

A questão da sustentabilidade está certamente na ordem do dia e é uma temática para a qual as empresas estão, de um modo geral, sensibilizadas. A certificação surge como resposta à crescente exigência dos consumidores e a que está também aliada uma consciencialização dos próprios proprietários para os problemas ambientais. A gestão sustentável da floresta está a desenvolver-se à medida que as empresas exigem que os seus fornecedores cumpram um quadro de normas que permita certificar a cadeia de responsabilidade. Na perspectiva de um mercado voluntário de certificados verdes, o consumidor final necessitará de uma garantia de que o produto satisfaz um conjunto de critérios de sustentabilidade. Existe actualmente uma tentativa de desenvolver um padrão de certificação para energia produzida a partir de biomassa ao nível europeu, no seguimento do que já existe em determinados países nórdicos como a Suécia, e que

pretende, entre, outros, que apenas a BFR originária de povoamentos certificados pelo Forest Stewardship Council (FSC) e em que não existe remoção de agulhas, folhagem ou raízes, possa ser certificada (Oehme, 2006).

4.2 SUSTENTABILIDADE ECONÓMICA

Os projectos de bioenergia devem ser viáveis para os diferentes intervenientes na cadeia de valores. A biomassa florestal para fins energéticos deve sempre ser capaz de competir com outro uso da biomassa, e ao mesmo tempo a energia produzida a partir de biomassa deve ser tão ou mais barata que a energia produzida a partir de sistemas de energia concorrentes. Os custos para esses cálculos mudam a toda a hora, em especial o custo dos combustíveis fósseis mostram grandes variações. Tais factos aumentam os riscos de investimento, em contrapartida existem também muitos benefícios socioeconómicos para projectos de bioenergia que em muitos casos não são contabilizados nos preços de mercado, que são um forte argumento para a sustentação económica de projectos de bioenergia.

Muitos aspectos económicos da colheita de combustível florestal dependem mais de políticas e mercados do que do proprietário florestal, por exemplo, a competitividade, impostos verdes, subsídios e os custos de transacção. No entanto, a rentabilidade da colheita do combustível florestal é determinante para o proprietário florestal, e o valor económico da produção depende do equilíbrio entre os custos de produção, rendimento, poupança e os lucros esperados no futuro.

- Na perspectiva do proprietário, o aproveitamento de BFR, permite-lhe tirar mais rendimento da exploração florestal e, mais importante ainda, valorizar o que antes era um resíduo. O facto de se tratar de um resíduo, contudo, não significa que não tenha valor próprio. De facto, como já foi referido anteriormente, não extrair a BFR tem benefícios ambientais que favorecem o proprietário, como a protecção do solo contra o efeito da erosão ou restrição de nutrientes. Existe, portanto, uma concorrência entre os dois usos que tem que ser considerada.

O valor dos combustíveis florestais para o proprietário florestal pode ser estimado, por exemplo, através dos custos de produção, custo de extracção, receitas futuras ou perda de receita, poupanças em custos futuros, preços de mercado e subsídios. Determinados

tipos de custos não são associados ao valor final dos combustíveis florestais, antes são associados a despesas inerentes à silvicultura convencional.

Para uma correcta estimativa dos custos relacionados com o uso de biomassa deve-se ter em conta os custos reais de todas as etapas envolvidas, nomeadamente: os custos de mão-de-obra, investimento em máquinas, combustíveis, óleos e a manutenção das máquinas.

O custo de cada etapa deve ser estimado separadamente, com base na produção real da máquina (tonelada, hora, etc.). Após a aplicação desta metodologia será então possível, o cálculo do custo unitário de biomassa, dividindo o output final pelos custos de horas das máquinas em cada etapa da cadeia de abastecimento.

Calculados os custos consequentemente podem-se calcular os lucros. Estes “rendimentos extraordinários” permitem, numa perspectiva global da exploração florestal, melhorar a viabilidade económica dos desbastes, cortes finais, preparação dos terrenos para novas plantações, entre outras (Hall, 2002). Gan & Smith (2007) estimaram que a exploração da BFR dos cortes finais nos EUA pode reduzir 60-74% os custos de preparação do terreno para reflorestação.

Os empreiteiros florestais são beneficiados pela exploração da BFR na medida em que induz o aumento da procura de trabalho, e consequentemente, torna o capital das empresas mais rentável.

A utilização de BFR para a produção de electricidade apresenta vantagens para os produtores de energia. Permite às centrais de combustão a carvão ou co-combustão eliminar emissões de CO_2 . Estas reduções, considerando o mercado de emissões de GEE e os custos de tratamento de emissões atmosféricas, proporcionam às centrais vantagens financeiras.

Para além dos mercados de emissões de CO_2 , a subida do preço de energia nos mercados mundiais e os subsídios governamentais tem aumentado a rentabilidade da colheita de BFR para energia. Relativamente aos subsídios, muitas vezes os objectivos, destes, prende-se mais com, garantir uma correcta gestão florestal, do que incentivar a colheita de madeira para energia.

As restrições económicas mais importantes para cada cadeia de valor da bioenergia são definidas pelos preços de produtos (calor, electricidade e combustíveis líquidos) no mercado de energia produzida a partir de outras fontes de energia. Também a produção

de bioenergia tem que competir com outros usos de biomassa, como já referido. Além disso a escassez de empresários qualificados e uma falta de maquinaria especializada para o corte e recolha de biomassa são restrições importantes a considerar.

Os combustíveis florestais têm uma longa história de utilização, e são normalmente utilizados na forma de lenha para lareiras, particularmente em zonas rurais. No entanto, a utilização em larga escala de BFR para produção de energia, é um desenvolvimento relativamente novo e há uma carência geral de conhecimento dos proprietários florestais, tomadores de decisão e do público em geral. Tal concepção é encarada de igual modo como uma restrição que tem que ser ultrapassada, e as vantagens, particularmente no que diz respeito às emissões de GEE, serem colocadas em destaque.

Relativamente aos aspectos económicos, pode-se concluir, que rentabilidade está geralmente garantida, seja por participação no financiamento, seja por uma tarifa de aquisição superior à praticada no mercado. Contudo, a restrição chave é a desvantagem competitiva dos sistemas de produção de energia a partir de BFR, relativamente aos combustíveis fósseis, particularmente na produção de energia eléctrica. No entanto, pode-se prever que a competitividade irá aumentar gradualmente à medida que as externalidades forem sendo integradas no mercado e os processos tecnológicos reduzirem essas diferenças.

Do ponto de vista da sociedade, o mercado da biomassa cria um conjunto de vantagens tais como (Domac & Richards, 2002):

- Desenvolvimento das áreas rurais com o investimento induzido passível de ser gerado;
- Segurança de abastecimento de energia;
- Equilíbrio da balança comercial regional;
- Crescimento regional;
- Potencial de exportação;
- Aumento da competitividade;
- Emprego;
- Criação de rendimento e riqueza;
- Benefícios de saúde nas populações (por exemplo, redução da incidência de problemas respiratórios devido à melhoria da qualidade do ar).

Neste capítulo foram abordados a vertente ambiental, económica e social da sustentabilidade dos sistemas de exploração da BFR.

O problema geral a ser resolvido pelos proprietários florestais é como ponderar esses critérios. A tabela 4 evidencia alguns exemplos de operações que visam o aproveitamento de BFR para energia, e que confrontam o proprietário a tomar uma decisão consoante as possibilidades e limitações de cada uma.

Fazendo a análise geral dos prós e contras, pode-se verificar que de um lado está eficiência económica e aspectos sanitários florestais (prós) contra o desejo de deixar parte do material para trás, para benefício da fertilidade do local, o rendimento futuro e a biodiversidade (contras). Muitas vezes os benefícios económicos e a falta de consciencialização relativamente às oportunidades do combustível florestal são os factores que pesam mais na tomada de decisão.

Operação	Prós	Contras
Colheita de energia florestal como árvores inteiras provenientes de desbastes	<ul style="list-style-type: none"> - Rendimento de operação de outra forma não comercial - Aumentar a qualidade e o rendimento do povoamento. 	<ul style="list-style-type: none"> - Baixa rentabilidade de operação - Aumento das remoções de nutrientes e de matéria orgânica - Menos madeira morta para organismos vivos que vivem de madeira morta
Colheita de resíduos de derrube de árvore	<ul style="list-style-type: none"> - Rendimentos de matérias-primas que de outra forma não utilizadas - Economia na preparação do solo - Economia na plantação - Redução da lixiviação - Estética - Redução do material de reprodução para insectos praga 	<ul style="list-style-type: none"> - Aumento das remoções de nutrientes e de matéria orgânica - Menos madeira morta para organismos vivos que vivem de madeira morta - Menos bagas na clareira
Colheita de tocos	<ul style="list-style-type: none"> - Rendimentos de matérias-primas de outra forma não utilizadas - Controlo da podridão das raízes - Redução do risco de ataques do gorgulho de pinheiro - Economia na preparação do solo - Economia na plantação 	<ul style="list-style-type: none"> - Aumento das remoções de nutrientes e de matéria orgânica - Menos madeira morta para organismos vivos que vivem de madeira morta - Aumento da decomposição e lixiviação - Estética - Menos bagas na clareira
Pré-secagem ou deixar parte do material colhível para trás	<ul style="list-style-type: none"> - Redução da remoção de nutrientes - Protecção contra danos do solo como compactação e formação de sulcos - Melhoria da qualidade das lascas de madeira e, possivelmente, maiores rendimentos - O material de secagem pode actuar como árvore armadilha para insectos praga 	<ul style="list-style-type: none"> - Custos mais elevados por m³ colhido - O material de secagem pode actuar como árvore armadilha para insectos praga - O material de secagem pode actuar como substrato para de reprodução insectos praga
Limitar a colheita a certas épocas	<ul style="list-style-type: none"> - Protecção do solo devido à baixa capacidade de absorção - Evitar os efeitos adversos para os organismos ou insectos praga que vivem da madeira morta 	<ul style="list-style-type: none"> - Redução do retorno de investimentos em máquinas de colheita
Armazenamento na beira da estrada para atenuar a procura	<ul style="list-style-type: none"> - O material de secagem pode actuar como árvore armadilha para insectos praga 	<ul style="list-style-type: none"> - O material de secagem pode actuar como árvore armadilha para espécies raras - O material de secagem pode actuar como substrato para de reprodução insectos praga
Reciclagem das cinzas de madeira	<ul style="list-style-type: none"> - A remoção de nutrientes é em alguma extensão compensada - Contradiz a acidificação do solo e das águas adjacentes 	<ul style="list-style-type: none"> - Aumento de custos sem efeito curto nos rendimentos - Impactos adversos no ecossistema se a cinza não for endurecida
Endurecimento das cinzas de madeira	<ul style="list-style-type: none"> - Libertação mais lenta de nutrientes - Menor impacto no ecossistema 	<ul style="list-style-type: none"> - Aumentos dos custos

Tabela 4 - Prós e contras (alguns exemplos) a ter em consideração por parte do proprietário, na tomada de decisão aquando da exploração de BFR para energia (Fonte: Adaptado de Roser *et al* , 2008).

4.3 FERRAMENTAS DE APOIO À DECISÃO PARA ANALISAR CENÁRIOS DE EXTRACÇÃO DE BIOMASSA FLORESTAL

Como foi referido anteriormente, a decisão sobre a utilização dos resíduos florestais é uma decisão multicriterial, o que representa um problema.

Na prática, a tomada de decisões relacionadas com BFR para energia, enfrenta vários problemas que limitam as opções de decisão. Por exemplo, a tecnologia florestal de captação de energia ainda está em desenvolvimento e existem diferenças entre áreas geográficas no que diz respeito ao tipo de tecnologia usada e o tipo de combustível florestal colhido. O proprietário florestal pode, estar na situação em que a tomada de decisão é limitada à possibilidade da colheita ou não colheita de combustível, em vez de avaliar diferentes cenários de recuperação.

Devido à falta de práticas comuns no sector de energia florestal, a tomada de decisão é sensível a suposições falsas sobre a sustentabilidade económica ou ecológica de operações de colheita, e o processo de decisão têm de ser concebido cuidadosamente para cada caso particular.

Segundo Dale & English (1999), o processo de decisão em matéria de energia de colheita florestal têm as seguintes etapas:

- Definição do problema, recolha de informações relevantes sobre o uso de energia florestal;
- O esclarecimento das preferências do responsável de decisões e valores dentro do quadro de processo de decisão;
- Decisão sobre alternativas viáveis com base na tecnologia disponível e práticas comuns;
- Estimativa de consequências (resultados) das alternativas;
- Comparação das alternativas em relação às preferências;
- Selecção e implementação das melhores alternativas;
- Avaliação pós-decisão.

Programas informáticos que enquadram estas etapas têm sido desenvolvidos para suportar a tomada de decisão.

Exemplo disso foi o EnerTree (Projecto WoodMen), concebido no âmbito do estudo realizado nos países nórdicos e bálticos da Europa acerca do uso sustentável da biomassa florestal para energia.

O EnerTree é um novo tipo de ferramenta de suporte à decisão que combina o conhecimento actual sobre a utilização da energia florestal em um programa abrangente para apoiar os decisores na tomada de melhores decisões sobre questões de energia florestal.

Contudo esta ferramenta está limitada à zona norte e leste da Europa. O tipo de povoamentos, tipo de solos, políticas energéticas, estratégias assumidas, maturidade dos mercados entre outros factores são pressupostos assumidos no programa, que não se encaixam de todo no contexto português. Ainda assim, é de interesse neste capítulo explicitar com mais detalhe o modelo estrutural baseado no desenvolvimento do EnerTree, no sentido de perceber como esta ferramenta abarca os prós e contras associados à exploração de resíduos florestais.

O EnerTree apresenta quatro componentes: folhas de dados de entrada; a apresentação da situação actual do povoamento; simulações e critérios de decisão. Além dos dados de entrada, o utilizador tem a opção de alterar os parâmetros de cálculo, a fim de afinar os cálculos para diferentes situações.

Importa aqui destacar o ambiente de decisão, pois é este que na prática auxilia o proprietário a fazer uma escolha.

As decisões são tomadas dentro de um ambiente de decisão, que pode ser definida como a recolha de informação, alternativas, valores e preferências. No EnerTree, o ambiente de decisão inclui seis grupos de tipos de informação (tabela 5) e sete alternativas (tabela 6).

Tipo de informação	Critério
Volume, biomassa, e energia	Massa total e os volumes dos componentes da biomassa de um povoamento florestal - Madeira, celulose e resíduos florestais.
Economia	Energia potencial de um povoamento florestal Receitas de vendas de troncos e resíduos Poupança / custos na silvicultura, inerentes à colheita combustível florestal Subsídios para a silvicultura e colheita combustível lenhoso
Balanco de nutrientes	Fluxos de nutrientes com a colheita de BFR. Necessidade de fertilização de compensação
Biodiversidade	Efeitos de colheita combustível florestal para a biodiversidade, tendo como referência a gestão florestal convencional.
Pragas de Insectos	Recomendações Efeitos de colheita combustível florestal sobre pragas de insectos em relação à colheita convencional de tronco
Carbono	Recomendações Conteúdo de carbono da biomassa colhida e os fluxos para outros agrupamentos Economia de combustível fóssil por combustível florestal colhido

Tabela 5 - Visão geral de tipos de informações para suporte à decisão no EnerTree (Fonte: Adaptado de Dominik Roser *et al*, 2008)

Alguns critérios de informação são estimativas quantitativas, baseados em modelos científicos (volumes de resíduos, por exemplo), enquanto outros são descrições mais qualitativas, baseadas em opiniões de especialistas (como efeitos na biodiversidade e pragas de insectos).

Com base na prática de colheita convencional, práticas presentes e emergentes da colheita de energia florestal, e nos extremos de remoção de todo o material acima e abaixo do solo, EnerTree inclui sete alternativas de gestão florestal, entre as quais está implícito ou não o uso de BFR para energia consoante os tipos de informações obtidas.

	Colheita para uso industrial	Colheita para energia	Deixado na floresta
STEMS	Troncos, cepos e polpa de madeira	—	Resíduos da colheita (topos e copas) toco e raízes
BROWN	Troncos, cepos e polpa de madeira	Resíduos pré-secos (topos e copas)	Agulhas e material fino caído durante a pré-secagem, toco e raízes
GREEN1	Troncos, cepos e polpa de madeira	Resíduos Frescos (topos e copas)	Toco e raízes
GREEN2	Troncos e cepos	Resíduos frescos (topos e copas)	Toco e raízes
WTH BR	—	Arvores Inteiras pré-secas	Agulhas e material fino caído durante a pré-secagem, toco e raízes
WTH GR	—	Arvores inteiras frescas	Toco e raízes
STUMPS	Troncos, cepos e polpa de madeira	Resíduos frescos, toco e raízes	—

Tabela 6 – Visão geral das alternativas de decisão no EnerTree, ordenados de acordo com a quantidade crescente de combustível florestal (Fonte: Adaptado de Dominik Roser et al, 2008)

É importante lembrar que programas como o EnerTree se baseiam em estimativas, não são medidas reais da floresta. A utilização de modelos e funções tem erros e incertezas provenientes de diferentes fontes. Ainda assim, trata-se numa ferramenta bastante útil, pois concentra-se na apresentação de dados relevantes para a extracção de resíduos e nas importantes relações entre os diferentes critérios e alternativas.

Posto isto verifica-se a importância da necessidade da existência deste tipo de ferramentas; do relevo que estas têm no auxílio de tomada de decisão (ajudando a contemplar todos os aspectos económicos e ambientais relevantes); e da importância em investigar, continuar a desenvolver e aprimorar estas metodologias e concepções, que permitem uma melhor gestão deste recurso tão valioso, como é a biomassa.

5. AVALIAÇÃO DA BIOMASSA FLORESTAL RESIDUAL PARA FINS ENERGÉTICOS NA ZIF ARADE – ALTE / SÃO BARTOLOMEU DE MESSINES

5.1 CARACTERIZAÇÃO BIOFÍSICA DA ÁREA DE ESTUDO

5.1.1 Localização

A ZIF Arade- Alte /São Bartolomeu de Messines, pertence à Serra do Caldeirão, possui de área 1783 hectares, localizada na freguesia de São Bartolomeu de Messines concelho de Silves, e na freguesia de Alte, concelho de Loulé, ambas no distrito de Faro (figura 22).

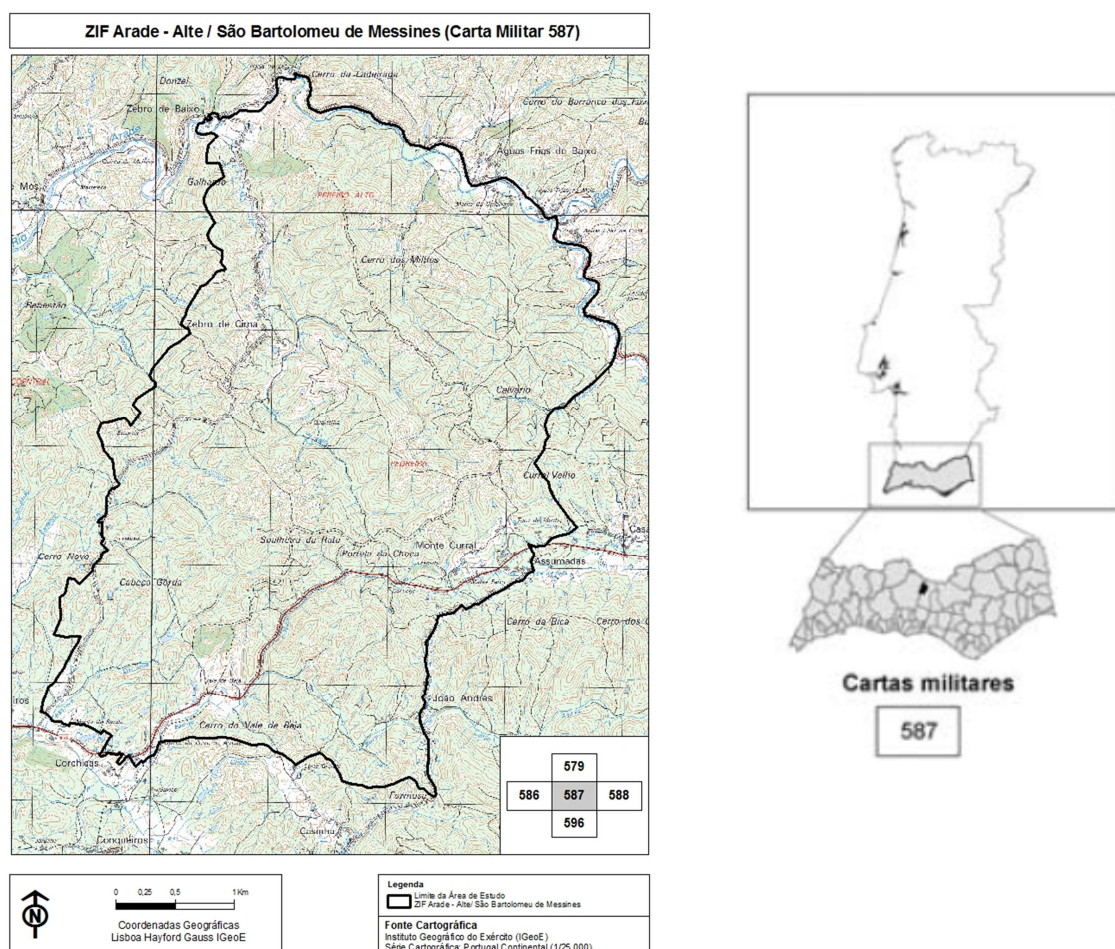


Figura 22 – Carta de Localização da ZIF Arade – Alte/São Bartolomeu de Messines.

5.1.2 Relevo e Altimetria

Segundo a Direcção Regional de Florestas do Algarve (DRFA), na área total da ZIF : 21% do total têm altitudes abaixo dos 200 metros, 38,7% apresenta altitudes compreendidas entre os 200-250 metros, 29,5% entre os 250-300metros, 10,3% entre os 300-350 metros, e apenas 0,5% corresponde a altitudes superiores a 350 metros (no anexo I encontra-se o modelo digital do terreno com as diferentes classes de altitudes da ZIF)

A altitude média da ZIF é de 250m, o ponto máximo é situado no Talefe da Pedreira, com 367 metros de altitude.

O declive encontra-se distribuído pelas classes de declive conforme apresenta a tabela 7.

Classes de declive (%)	Área (ha)	% do total
1- Inferior a 10 %	88.38	0.49
2 - Entre 10 e 25 %	89.37	0.50
3 - Entre 25 e 35 %	518.55	29.08
4 - Entre 35 e 50 %	482.12	27.03
5/6 - Superior a 50 %	604.36	33.89

Tabela7 – Declives na Área da ZIF (Fonte: DRFA, 2010).

Constata-se que mais de 60% da área da ZIF possui declives acentuados, apresentando risco de erosão elevado ou muito elevado, tornando este território mais susceptível à erosão e facilitador da propagação de incêndios ascendentes (a carta de declives encontra-se no anexo I).

Relativamente à exposição, pode-se constatar pelo mapa de exposições no anexo I, que na área da ZIF não se encontram exposições predominantes mas sim uma distribuição da exposição generalizada por todas as orientações, à excepção da exposição plana.

A tabela 8 informa sobre as percentagens de área correspondentes a cada exposição solar na ZIF.

Exposição	Área (ha)	% do total
1- Plano	25.11	1.41
2- Norte	211.26	11.84
3- Nordeste	262.02	14.69
4- Este	195.02	10.93
5- Sudeste	191.70	10.75
6- Sul	228.37	12.81
7- Sudoeste	265.13	14,36
8- Oeste	222.84	12.49
9- Noroeste	189.97	10,65

Tabela 8 – Exposições da ZIF (Fonte: DRFA, 2010)

Ao nível da Hidrografia, verifica-se à semelhança do que acontece no resto do Algarve, que as linhas de água têm um escoamento superficial influenciado pelo regime pluviómetro sazonal e muito irregular, do tipo regime torrencial com caudais nulos ou muito reduzidos durante o verão e caudais volumosos durante o inverno.

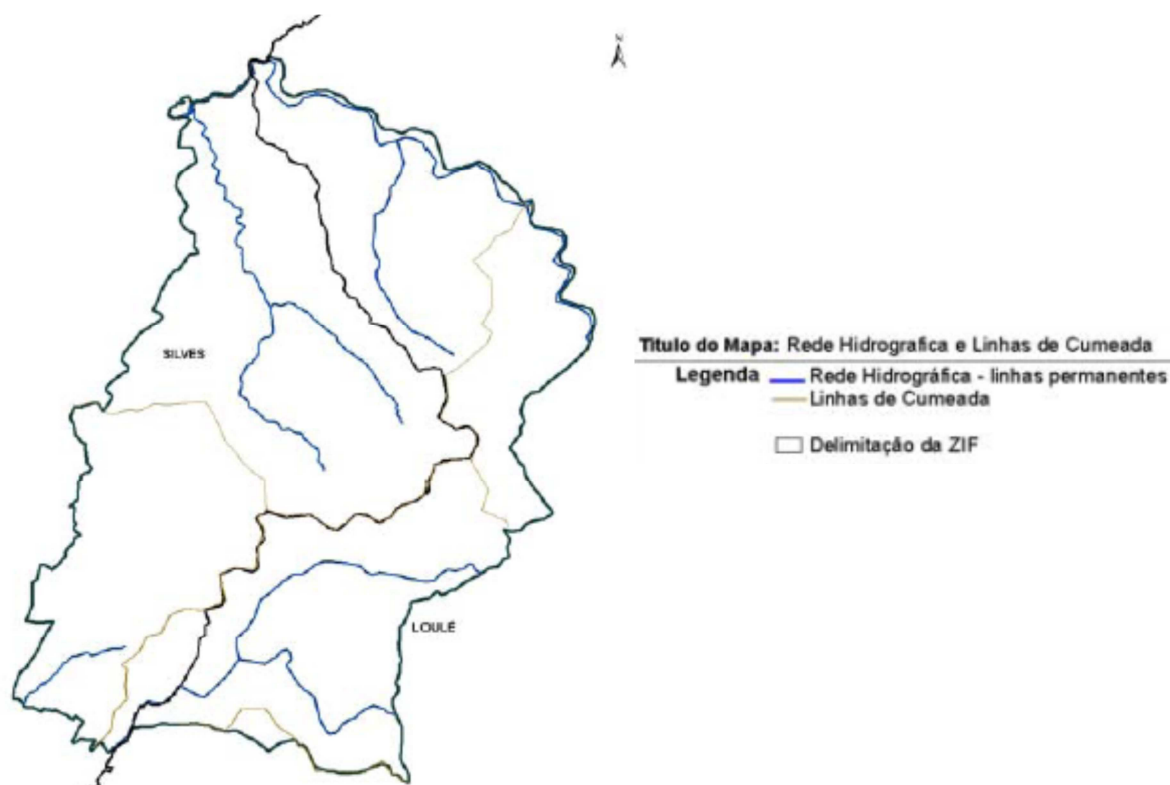


Figura 23 - Fontes: IGEO, CM Silves, CM Loulé, Elaborado: Associação In Loco

5.1.3 Clima

Segundo a classificação climática de Koppen (1927) o concelho de Silves e Loulé correspondem a um clima mesotérmico temperado (Csa), com verões secos e invernos chuvosos. A temperatura média do ar situa-se entre 15,5° e 17,5°C. Os meses de maior temperatura são de Maio a Setembro, com uma média máxima entre 22,4 e 28,8°C para aquele período.

A precipitação média anual varia entre 600-800mm, distribuídos por 90 dias ao longo do ano (PMDFCI de Silves, 2008), verificando-se uma quebra acentuada nos valores de precipitação a partir de Abril e seca nos meses de Junho a Agosto.

Os valores médios de humidade relativa do ar, em particular para a área da ZIF, situam-se entre 65-70%. Os meses de Maio a Setembro apresentam valores abaixo dos 65%, e o mês de Agosto apresenta o valor mínimo de 58,5% (PMDFCI Silves, 2008).

A insolação no Algarve apresenta valores superiores a 3000 h de sol por ano. Na zona delimitada pela ZIF estes valores situam-se entre 2800 e 3100 horas de sol por ano (PMDFCI de Silves, 2008; PMDFCI de Loulé, 2007).

5.1.4 Litologia

O material geológico nos concelhos onde se insere a ZIF varia entre formações carbónicas muito antigas e recentes sedimentos de baixios, entre sedimentos marinhos, fluviais ou lagunares e rochas magmáticas (IN LOCO 2010).

A ZIF Arade – Alte / São Bartolomeu de Messines têm solos da família EX - litossolos dos climas de regime xérico de xistos ou grauvaques. Os solos desta família são esqueléticos, pouco espessos e muito pedregosos, sobretudo nas encostas superiores e cumes, pobres em matéria orgânica, sujeitos a fenómenos erosivos quer das formações geológicas, quer da orografia e intervenções humanas e com fraca aptidão cultural.

Ao nível da aptidão dos solos, de acordo com o Serviço de Reconhecimento e Ordenamento Agrário (SROA), predominam no Algarve as classes de capacidade de

uso mais baixas, classe D e E, com as percentagens 10,1% e 67,5% respectivamente, da superfície total do Algarve.

As classes de capacidade de uso do solo D e E correspondem a solos com limitações severas ou muito severas, não susceptível a utilização agrícola, e com limitações para pastagem. Servem apenas para exploração de floresta e matos ou não susceptíveis de qualquer utilização (IN LOCO 2010).

5.1.5 Uso e ocupação do solo

A ZIF em estudo é ocupada na sua maioria por povoamentos florestais a nível arbóreo, que coexistem simultaneamente com matos a nível arbustivo.

Na ZIF é ainda ocupada por uma área de bacia aluvionar, junto ao rio Arade, onde se concentram algumas habitações. A restante área é destinada a usos agro-florestais com habitação dispersa de baixa densidade.

Pode-se concluir que a área da ZIF é pouco habitada e apresenta uma vasta área de povoamentos florestais, agro-florestais e matos.

A partir da carta de ocupação de solo elaborada pela Autoridade Florestal Nacional (AFN), e com recurso a imagens satélite (Google Earth) com data de 19-09-2010, bem como visualizações no terreno, pode-se fazer uma actualização do tipo de ocupação de solo nos limites da ZIF em estudo.

Dados os objectivos do trabalho, optou-se por produzir dois mapas, um referente aos povoamentos arbóreos e outro referente ao substrato arbustivo (matos), as áreas a branco nestes dois mapas (anexo I), denominam-se “áreas não definidas”, podem tratar-se de áreas sociais, redes viárias, cursos de água, ou áreas cultivadas, nas quais não existem árvores ou matos consoante o mapa.

A vegetação existente na ZIF é uma vegetação tipicamente mediterrânea, adaptada ao clima e ao solo, com a presença de sobreiros, eucaliptos, pinheiros, medronheiros entre outras folhosas. A nível de matos predominam as estevas e outras cistáceas, urzes, rosmaninho, e tojo. Nas galerias rípicolas dominam os freixos, os salgueiros, as tamargueiras, os loendros, os tamujes, o silvado.

Na tabela 9, é possível encontrar a área de ocupação estimada para espécies florestais presentes na ZIF em estudo.

Ocupação Florestal	Área (ha)	% do Total
Sobreiro	1525,7	85,6
Eucalipto	16,5	0,9
Pinheiro Manso	13,7	0,8
Outras Folhosas	71,1	4,0
Matos	1505,8	84,4

Tabela 9 – Ocupação florestal por espécie da Área da ZIF (Fonte: AFN, Elaborado por: Tiago Mourinho, 2011)

É importante salientar ainda, que o mapa de ocupação florestal produzido no âmbito deste trabalho não distingue a densidade dos povoamentos, nem o facto de estes serem puros ou mistos. Esta última condição referida verifica-se apenas no caso dos sobreiros e medronheiros e dado os objectivos do trabalho achou-se relevante não fazer esta distinção.

No grupo “outras folhosas” estão englobadas áreas onde existem apenas outras espécies de folhosas, que não o sobreiro e o eucalipto, e que devido à sua existência pontual ou às características fisiológicas das espécies em causa, não constituíram alvo de estudo para aproveitamento energético. Mais à frente este assunto será exposto com maior detalhe.

A área de Matos apresentada na tabela 9 torna evidente que estes coexistem de um modo bastante representativo com os povoamentos florestais. Contudo, é possível verificar com a análise em simultâneo dos dois mapas de ocupação florestal, que existem áreas exclusivas de matos, embora com representatividade pouco expressiva.

O eucalipto é uma espécie introduzida, apresenta crescimento rápido e excelentes características papeleiras da fibra, interessantes para a indústria papeleira. Pode-se verificar por observação directa e contacto com os proprietários, que se trata de explorações intensivas em regime de talhadia.

O pinheiro manso é à semelhança do eucalipto uma espécie introduzida, por contacto directo com o proprietário, pode-se constatar que o objectivo de exploração do pinhal (manso) é a obtenção do fruto (pinha).

5.2 METODOLOGIA

Metodologias de avaliação do potencial de biomassa florestal residual (BFR) têm vindo a assumir uma preponderância crescente desde que se deixou de considerar este material como um resíduo e se passou a encará-lo como uma fonte energética.

Na implementação de projectos que utilizam a BFR como matéria-prima, sendo as centrais termoeléctricas exemplo disso, é imperativo dispor de informação rigorosa no que respeita à sua quantidade, distribuição, características, etc. Projectos dessa natureza requerem investimentos avultados, e como tal, é necessário decidir o dimensionamento, a tecnologia de conversão e planos de exploração adequados ao fluxo e características da BFR. Para além disto, a avaliação do potencial de biomassa é igualmente importante para um correcto delineamento das políticas energéticas, permitindo definir instrumentos de incentivo à sua utilização atendendo a conjuntos de metas que se pretende alcançar, tais como a contribuição das energias renováveis na produção de energia primária ou na redução da emissão de GEE.

O potencial de BFR pode ser subdividido em várias categorias em função das restrições que se consideram na sua exploração (Sims, 2002). O potencial técnico refere-se ao total de BFR que pode ser produzido em podas, desbastes, cortes finais, limpezas de matos. Note-se que o termo “técnico” refere-se estritamente a um potencial físico e não inclui restrições de ordem tecnológica, como por exemplo a extracção de BFR de locais inacessíveis.

O potencial económico define-se como a quantidade de BFR que é economicamente viável explorar. Este potencial considera um conjunto de factores que limitam a explorabilidade da BFR: a distância de transporte, o declive do terreno ou a humidade de BFR, em suma, todos os factores que influenciam o custo total da BFR entregue à porta da unidade consumidora e o preço por esta oferecido. Este preço oferecido depende por sua vez do mercado global. Este aspecto é mais claramente perceptível se

atentarmos às flutuações de preços do petróleo, nomeadamente os aumentos de preço que este tem sofrido, e que torna as restantes fontes de energia mais competitivas.

Outra categoria que pode ser definida é o potencial socioeconómico, e que incorpora, para além de restrições anteriores, os factores ambientais e sociais. Os factores ambientais são por exemplo, a conservação da biodiversidade ou da fertilidade do solo. A crescente preocupação com as alterações climáticas pode também, resultar em instrumentos de política com o objectivo de internalizar os benefícios sociais e ambientais que advêm da utilização da BFR para a produção de energia.

Concluindo, para determinar como é que para numa dada área de estudo se traduz a ocupação florestal em energia disponível, há que ter em conta as restrições apresentadas anteriormente para uma melhor adaptação às circunstâncias reais.

A figura 24 é representativa das restrições mais comuns a aplicar para estimar o potencial de biomassa.

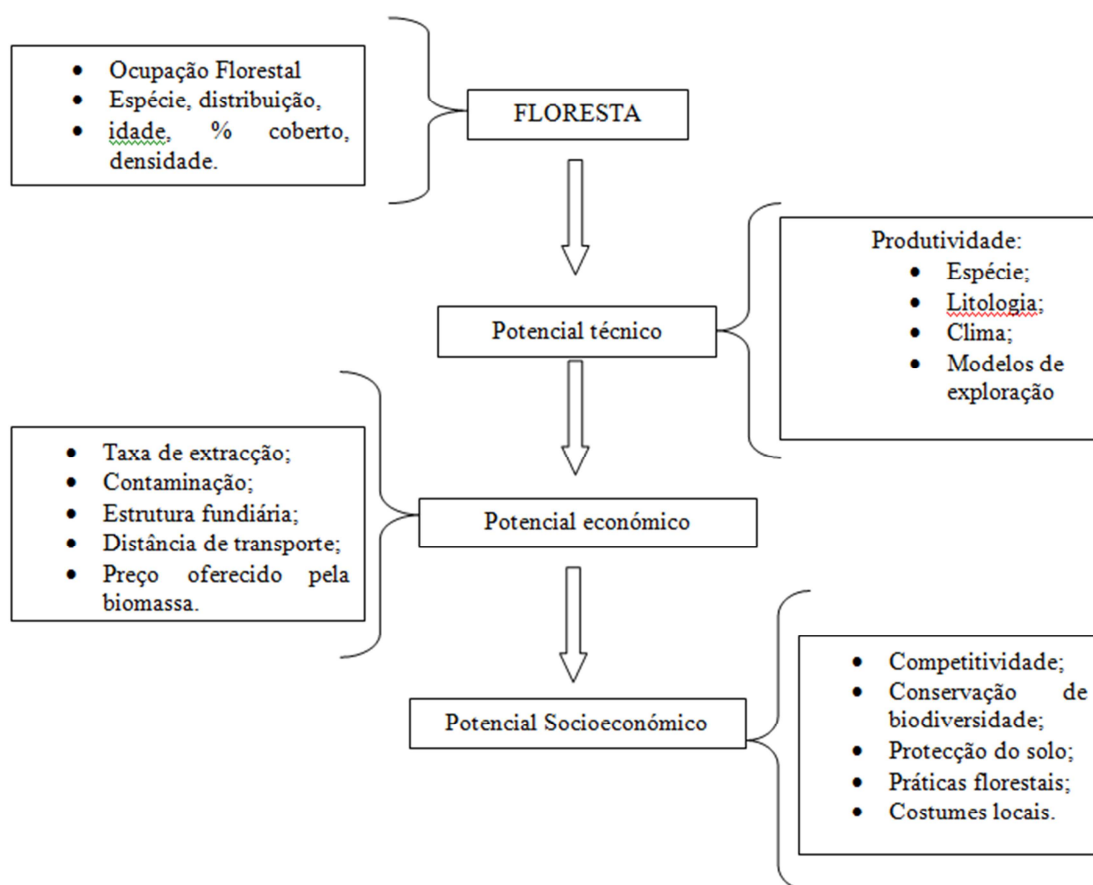


Figura 24 – Esquema geral da metodologia para a avaliação das diferentes categorias de potencial de biomassa e respectivas condições (Fonte: Adaptado Netto, 2008)

Tendo concluído a apresentação dos principais métodos de avaliação do potencial de biomassa, torna-se agora oportuno lembrar os objectivos principais do presente trabalho:

1) Quantificar a produção potencial de biomassa florestal residual (BFR) na ZIF de Arade – Alte de São Bartolomeu de Messines e posteriormente estimar o seu valor energético;

2) Proceder à análise da quantidade de BFR disponível, ou seja, o que é economicamente viável de explorar dentro dos limites da ZIF. As restrições consideradas neste ponto foram a inclinação do terreno e a distância à rede viária. Para além disso a análise económica consiste entre outros aspectos, na determinação do raio de abastecimento e na determinação do rendimento líquido médio do produtor;

3) Proceder à elaboração de cenários que prevêem o consumo da BFR passível a ser explorada. O local escolhido foi as piscinas municipais de Silves. Foi feita uma análise económica do uso de BFR para aquecimento das piscinas e espaços interiores do pavilhão, comparativamente ao uso do combustível actualmente utilizado (gás propano).

Neste trabalho, tal como definido anteriormente, a produção de BFR potencial refere-se a toda a biomassa que é possível recolher de um povoamento, sem considerar a vertente económica. A disponibilidade de BFR por sua vez, exprime a quantidade de BFR que é economicamente viável recolher e transportar.

O conceito de BFR utilizado neste trabalho considera apenas, os matos, ramos, casca, folhas e bicadas. A bicada ou topo é neste trabalho, definida como a parte superior do fuste com menos de 7 centímetros. A utilização de cepos, removidos após corte final e antes de uma nova plantação, não foi considerada visto que o regime de plantação dos eucaliptos na área da ZIF é o regime de talhadia.

O trabalho considerou apenas a BFR proveniente de operações de podas e desrama de sobreiros e pinheiros, corte de matos e de corte final no caso dos eucaliptos, excluindo a operação de selecção de toijas (eucaliptos) e corte de árvores mortas (sobreiros). A figura abaixo esquematiza os objectivos principais deste trabalho.

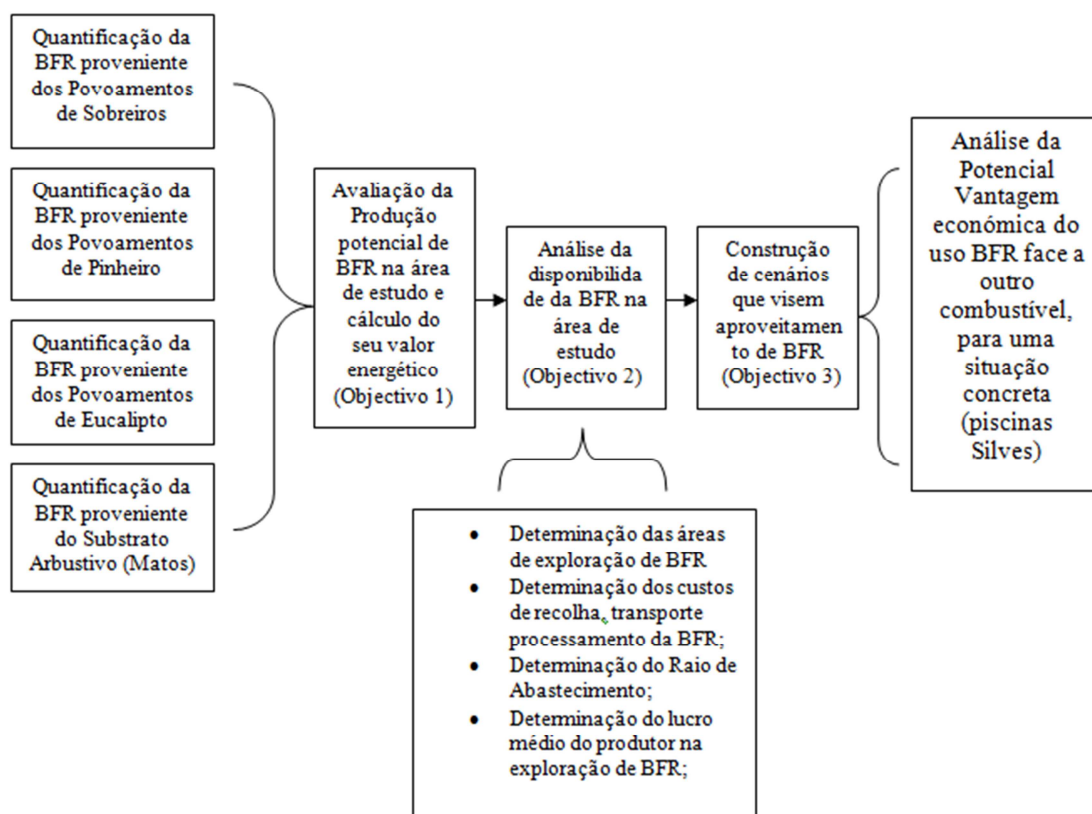


Figura 25 – Esquema geral dos objectivos e sub-objectivos do trabalho.

5.2.1 Quantificação da biomassa florestal residual potencial

Importa definir, em primeiro lugar, o âmbito da avaliação da BFR potencial na ZIF em estudo. O trabalho considerou apenas a BFR dos povoamentos de sobreiro, eucalipto, pinheiro e de matos, como já referido anteriormente.

A BFR proveniente dos povoamentos de medronheiro e outras folhosas encontrados na área de estudo, como a azinheira e oliveira foi excluída, devido aos seguintes factos:

- No caso da oliveira, azinheira e outras folhosas, a sua presença é bastante pontual, ou seja a extensão de terreno ocupada por estas espécies dentro dos limites da ZIF é muito

pouco significativa, logo a sua exploração é potencialmente menos viável quando comparado com as outras espécies que ocupam áreas com dimensões maiores;

- Foram detectadas na ZIF em estudo, áreas de povoamentos puros e povoamentos mistos de medronheiro, contudo constatou-se por contacto directo com proprietários que não se verificam limpezas, desrame, ou podas desta espécie arbórea. Também não se realizam plantações, nem remoção de árvores mortas, alguns proprietários limitam-se a limpar o mato e a colher o fruto (medronho) nestes povoamentos. Portanto praticamente não é possível a extracção de BFR com este tipo de gestão florestal.

Outro aspecto que torna inviável a exploração de BFR nos povoamentos de medronheiro é a dimensão desta espécie arbórea. São árvores de pequeno porte, com pouco material lenhoso passível de ser extraído, ainda e mais uma vez devido ao facto de serem árvores de pequeno porte, torna impossível a estimativa de BFR utilizando os mesmos pressupostos metodológicos usados para os outros povoamentos.

Tendo em conta os factos acima referidos, nas áreas onde se verificou a existência de sobreiros e medronheiro, apenas foi contabilizada a BFR proveniente dos sobreiros. Todas as outras áreas onde se verificou a existência de apenas medronheiros, ou de outras folhosas, pelas razões já referidas anteriormente, não formam alvo de contabilização da BFR.

A avaliação da biomassa produzida pelas espécies arbóreas e arbustivas consideradas no estudo assentaram em metodologias diferentes, no entanto antes de apresentar cada uma delas é pertinente explicar alguns aspectos metodológicos comuns em todas as situações.

A avaliação do potencial de BFR, na área de estudo inclui várias etapas, sendo uma delas a classificação do esquema de amostragem. A amostragem pode definir-se como sendo uma selecção de parte dum agregado populacional representativa de todo o agregado.

O esquema de amostragem aplicado permitiu a subdivisão em estratos da área total da ZIF. As subdivisões foram fundamentadas no tipo de povoamento (sobreiro, eucalipto, pinheiro ou matos) e na orientação das encostas.

Tal como já foi salientado, a ZIF em estudo é caracterizada pela presença de um relevo acidentado. Determinada pela altitude e orientações, a exposição das encostas influencia a distribuição das comunidades vegetais. O teor de humidade dessas comunidades (massa de combustível) é variável em função da exposição e da energia solar associada.

Assim, nas encostas viradas a sul, recebendo mais radiação solar, o ar é mais seco, surgindo aí as espécies heliófilas. Nas encostas viradas a norte, onde a absorção da radiação solar só é feita a partir do meio-dia solar, temos as espécies ciáfilas (de ambientes sombreados). Aqui a humidade relativa é maior, favorecendo o desenvolvimento vegetativo e a produtividade das espécies vegetativas e directamente a carga de combustível. No anexo I encontra-se o mapa com a classificação das diferentes exposições das encostas face ao sol para os limites da ZIF. Este mapa e as diferentes classificações estipuladas resultaram do modelo digital de terreno e foi obtido com recurso ao software ArcGis versão 9.3.

Na legenda do mapa:

Plano - corresponde às zonas planas sem exposição;

Frio – corresponde às zonas com exposição norte, noroeste e nordeste;

Quente – corresponde às encostas com exposição a sul, sudoeste e sudeste;

Temperado – corresponde às encostas com exposição este ou oeste.

O objectivo principal de dividir a população florestal em estratos, segundo a espécie e segundo a exposição solar, foi tornar tão homogéneo quanto possível cada estrato, de modo a que a variação dentro de cada estrato seja inferior à da população total.

Os estratos obtidos com interesse de quantificar a BFR foram:

- Para as espécies arbóreas:

- Estrato com ocupação de Eucaliptos sem exposição solar (Plano);
- Estrato com ocupação de Eucaliptos com exposição “Frio”;
- Estrato com ocupação de Eucaliptos com exposição “Quente”;
- Estrato com ocupação de Eucaliptos com exposição “Temperado”;
- Estrato com ocupação de Pinheiros sem exposição solar (Plano);
- Estrato com ocupação de Pinheiro com exposição “Frio”;
- Estrato com ocupação de Pinheiro com exposição “Quente”;

- Estrato com ocupação de Pinheiro com exposição “Temperado”;
- Estrato com ocupação de Sobreiro sem exposição solar (Plano);
- Estrato com ocupação de Sobreiro com exposição “Frio”;
- Estrato com ocupação de Sobreiro com exposição “Quente”;
- Estrato com ocupação de Sobreiro com exposição “Temperado”;

– Para os Matos:

- Estrato com ocupação de Matos sem exposição solar (Plano);
- Estrato com ocupação de Matos com exposição “Frio”;
- Estrato com ocupação de Matos com exposição “Quente”;
- Estrato com ocupação de Matos com exposição “Temperado”;

No total definiram-se 12 estratos para as espécies arbóreas, 4 para cada espécie, e 4 estratos para os matos. No caso dos matos, como é visível na subdivisão em estratos apenas se teve em consideração a exposição solar, sendo todas as espécies de matos foram englobados na mesma classe. Os mapas produzidos com os diferentes estratos encontram-se no anexo I. Estes mapas resultaram do cruzamento de informação entre o mapa de exposição solar e o mapa da ocupação do solo. Para tal recorreu-se ao software ArcGis versão 9.3.

A distribuição das amostras para quantificar a BFR foi feita de modo casual e proporcional à dimensão dos estratos. Primeiro definiu-se o número total de amostras a realizar (43 para as populações arbóreas e 30 para a população arbustiva), seguidamente calculou-se o número de amostras a realizar para cada estrato, tendo em conta a percentagem de área que cada um ocupa, por último procedeu-se à distribuição das amostras de um modo aleatório para cada estrato através da extensão “Random Points” do software ArcGis 9.3.

A localização final das amostras, tendo em conta os pressupostos anteriormente referidos, encontram-se representadas em mapas (anexo I), separadamente consoante se trate do substrato arbóreo ou arbustivo.

O sistema de coordenadas WGS 84 foi o escolhido na atribuição de coordenadas para as amostras, para posterior realização de trabalho de campo com recurso a GPS.

5.2.1.1 Metodologia de quantificação e avaliação energética da BFR para os Matos.

- Para o substrato arbustivo a metodologia para quantificar a BFR foi a seguinte:

Como foi referido, primeiramente com a utilização de um sistema de informação geográfica (SIG) foi feita a delimitação das áreas de matos na ZIF, posteriormente foram delimitadas as áreas segundo as exposições solares. O cruzamento destes dois tipos de informação permitiu a divisão em estratos da área total de matos. No total obtiveram-se quatro estratos para a toda a área de matos nos limites da ZIF, tendo em conta a exposição solar. Com a divisão da área total em estratos mais homogéneos, procedeu-se à distribuição de amostras de um modo aleatório e segundo a dimensão de cada estrato.

Posto isto, iniciou-se o trabalho de campo para a quantificação de matos. Este realizou-se de 5 a 20Abril, e foram seguidos meticolosamente as instruções do Manual: “*Instruções de Campo do Inventário Florestal Nacional – IFN 2005/2006*”, de modo a evitar erros de medição.

Com as coordenadas pré definidas e com recurso ao GPS foi possível localizar no terreno o centro de cada amostra. A circunscrição destas efectuou-se utilizando uma fita métrica. Cada amostra possuía uma área de 9 m^2 ($3*3\text{m}$).

Após a delimitação das amostras procedeu-se ao corte e recolha dos materiais sobrantes e outros resíduos que se encontravam em sub-coberto (figura 27), excluindo a regeneração natural de espécies arbóreas como o medronheiro ou o sobreiro.

A seguir à realização do corte e recolha dos resíduos de origem florestal, realizou-se a pesagem dos mesmos repetindo-a três vezes. À *posterior*, determinou-se o valor médio das três pesagens para cada uma das amostras.

Para além disso outros dados foram recolhidos, tais como: a existência ou não, de controlo de matos, as principais espécies encontradas e a percentagem de ocupação de cada uma, entre outros. A ficha de campo utilizada encontra-se no anexo II.

Os dados recolhidos foram analisados numa primeira fase de forma a avaliar a sua qualidade, tendo sido rejeitados todos os valores que pudessem ser considerados anormais. Por exemplo, foram efectuadas amostras que apresentaram valores de pesagem muito inferiores a outras amostras do mesmo estrato, pode-se observar que este facto é explicável devido à existência de vestígios de limpeza muito recentes, como tal não se teve em conta estas pesagens realizadas. No total foram rejeitadas três amostras do universo amostrado.

Posteriormente, foi efectuado o tratamento estatístico dos dados registados (Amostragem estratificada proporcional – ver Anexo III). O SPSS versão 17 e Excel Office foram os programas utilizados nesta análise.

Depois de concluir o tratamento estatístico dos dados medidos no terreno, fez-se a extrapolação do valor médio populacional obtido (em unidades de massa) para a área total de matos. Considerou-se para a extrapolação deste tipo de vegetação, limpezas de matos em sub-coberto de cinco em cinco anos.

Este valor (intervalo de 5 anos) foi estipulado posteriormente de terem sido recolhidas opiniões, através de contactos directos com proprietários locais e investigadores da Universidade do Algarve.

Para determinar a humidade, e posteriormente o peso seco da biomassa, foram recolhidas três amostras de cada estrato representado. As amostras, assim como os seus recipientes, foram pesados antes e depois de serem colocadas em estufa a 105°C durante três dias.

Uma vez destacada a metodologia para determinar a quantidade potencial de BFR disponível, resta agora explicitar a metodologia usada na determinação do seu valor energético.



Figura 26 – Ilustração da pesagem das amostras recolhidas



Figura 27 – Ilustração de uma parcela de amostragem depois da recolha de materiais

- Metodologia de avaliação energética adoptada para o substrato arbustivo:

Neste ponto o objectivo principal passou por determinar a quantidade de energia libertada por unidade de massa do combustível (BFR), ou seja determinar o poder calorífico. O poder calorífico pode ser classificado em *poder calorífico superior* (PCS) e *poder calorífico inferior* (PCI) (Stultz *et al* , 1992). O PCS existe quando os produtos de combustão condensam devido à diminuição da temperatura, quantificando-se o calor de vaporização da água; o PCI, por outro lado leva em conta que todos os produtos de combustão, incluindo a água, se encontram na forma gasosa, não se quantificando o calor de vaporização da água (Stultz *et al*, 1992).

No substrato arbustivo foram identificadas as principais espécies presentes nos limites da ZIF em estudo. O PCS destas foi obtido por consulta bibliográfica (Lousada 2010) com excepção da esteva para a qual não existiam valores.

Foi então necessária a execução de experiências que permitissem a obtenção do PCS desta espécie. Foram estabelecidos contactos, e o Professor José Luís Lousada da Universidade de Trás dos Montes e Alto Douro prontificou-se a colaborar na determinação do PCS da esteva.

O PCS da BFR de esteva em base seca foi determinado de acordo com a normativa CEN/TS 14918, 2005, usando o calorímetro isoparaboico, PAR 63000.

Posteriormente à obtenção do PCS da esteva foi achado um valor de PCS ponderado, tendo em conta os valores das outras espécies de matos.

O PCI em função da humidade foi determinado através da seguinte fórmula (Rosillo-Calle *et al*, 2007):

$$PCI = PCS \times \left(1 - \frac{H}{100}\right) - 2,447 \times \frac{H}{100} - 2,447 \times \frac{h}{100} \times 9,01 \times \left(1 - \frac{H}{100}\right)$$

Equação (7)

Em que,

PCI= Poder calorífico inferior (MJ/kg)

PCS= Poder calorífico superior (MJ/kg)

H= Humidade (% , base húmida)

h=Hidrogénio (%)

O valor de humidade usado foi 35%, que é um valor passível de ser atingido após secagem dos resíduos à temperatura ambiente. Para além disso, através do contacto directo com os técnicos da central de Mortágua, pode-se constatar que a comercialização da biomassa é feita normalmente quando esta possui 35% humidade.

O valor da percentagem de hidrogénio resultou de uma média ponderada dos valores achados em bibliografia diversa para as espécies de matos mais representativas na área de estudo.

Com os valores do PCS e PCI finais foi possível determinar a quantidade de energia por unidade de massa e extrapolar o valor obtido para a quantidade total disponível de ser extraída na área de estudo, na base seca e com 35% de humidade respectivamente.

5.2.1.2 Metodologia de quantificação e avaliação energética da BFR para os Sobreiros

- A metodologia para quantificar a BFR:

A metodologia para quantificar a biomassa proveniente do montado de sobreiro foi ligeiramente diferente da seguida para o caso dos matos, pois não era possível proceder à pesagem directa da BFR disponível. A alternativa seguida assentou na recolha de algumas variáveis biométricas que serviriam de base para a resolução de equações, elaboradas com o objectivo de calcular a biomassa passível de ser extraída.

O objectivo do trabalho de campo foi recolher dados que permitissem estabelecer uma relação entre uma ou mais variáveis biométricas (variáveis independentes) e a BFR (variável dependente) ao nível da árvore. O trabalho de campo para a quantificação da BFR proveniente de sobreiros e das outras espécies arbóreas realizou-se de 10 de Março a 4 Abril na ZIF Arade/ Alte São Bartolomeu de Messines.

O mapa de distribuição das amostras e a ficha de campo utilizada nas espécies arbóreas encontra-se no anexo I e anexo II respectivamente.

Mais uma vez aqui se deu particular atenção ao cumprimento de todas as recomendações sugeridas no manual “*Instruções de Campo do Inventário Florestal Nacional – IFN 2005/2006*”, de modo a evitar erros de medições.

Foram realizadas 27 amostragens para os povoamentos de sobreiros, as amostras foram distribuídas segundo os critérios acima referidos (ponto 5.2.1).

Cada zona de amostragem possuía uma área de $500m^2$, com formato circular. A delimitação das amostras foi feita através de uma fita métrica usando como medida do raio 12,62m.

A amostra de formato circular, têm a vantagem de apresentar uma menor relação entre o perímetro e a área, de tal modo que o número de árvores localizadas no limite da parcela seja o mais reduzido possível, para além que a sua delimitação é mais fácil e rápida.

Para cada árvore com diâmetro maior ou igual a 7,5cm nas diferentes amostras realizadas, foi medido com auxílio de uma fita métrica (específica para medir diâmetros) o diâmetro a altura do peito: 1,30m (DAP), a circunferência ou perímetro a altura do Peito (CAP), e foi contado o número de pernadas ou ramos de 1º ordem. Para além disso, como é visível na ficha de campo (anexo II) foi registado o número de indivíduos jovens (diâmetro inferior a 7,5cm e altura inferior a 1,30m), o estado, a forma, o ano de descortiçamento de cada árvore, e a origem do povoamento, entre outras informações achadas relevantes.

As equações usadas para estimar a biomassa residual potencial de ser extraída dos montados foram:

1. Equação para o cálculo de BFR proveniente de Podas

$$B_m = \frac{[0,01308 \times \text{pap}^{1,6222} \times \text{pr}^{0,38} + 0,001712 \times (\text{pap}^2 \text{pr})^{0,976}]}{0,35}$$

Equação 8 – Cálculo de biomassa das podas de Sobreiros (Fonte: Silva *et al*, 1984)

Onde: B_m- biomassa da copa (kg); pr- número de pernadas; pap- perímetro a altura do peito (cm).

A equação 8 têm como finalidade estimar a biomassa da copa ao nível da árvore, para o cálculo das podas de sobreiro. Assumiu-se que a fracção retirada em podas corresponde a 30% do total da biomassa de copa (silva *et al*, 1984).

Considerou-se para a extrapolação deste tipo de resíduos a realização de podas no montado de sobreiro de 9 em 9 anos. Este espaço temporal foi definido através de entrevista directa junto a alguns proprietários. Contudo é importante salientar que nem todos os proprietários foram entrevistados, e que as opiniões não foram 100% unânimes no que diz respeito à realização de podas e ao intervalo de tempo de execução destas. Ainda assim tendo em conta o objectivo do trabalho e os modelos de silvicultura delineados no plano regional de ordenamento florestal (PROF), onde são previstas sempre que necessário as podas de manutenção e de formação para facilitar a formação e a extracção de cortiça da árvore, optou-se por se chegar ao consenso de considerar para a quantificação do potencial de BFR a biomassa proveniente de podas de sobreiros e a realização destas num intervalo de tempo de nove anos.

Outro aspecto relevante prende-se com a quantificação da BFR nos montados proveniente de podas que não teve em conta os diferentes tipos de poda existentes, e já mencionados no capítulo 3 deste trabalho. Assumiu-se o pressuposto que a fracção retirada em podas corresponde a 30% do total da biomassa da copa, como anteriormente referido, independentemente de se tratar de uma poda de manutenção, sanitária ou outra. Na prática o pressuposto assumido pode-se não verificar em determinadas situações, no entanto dado à dificuldade de se conhecer as diferentes opções de gestão florestal

assumidas pelo universo total de proprietários na ZIF em estudo, optou-se mais uma vez por simplificar a realidade e assumir que a fracção retirada nas podas é sempre 30% do total da biomassa da copa.

2. Equações usadas para o cálculo de BFR proveniente de árvores mortas no montado de sobro

Para componente:

$$\underline{\text{Lenha no tronco, pernadas e braçadas}} = 284,2881 * cu^{2,9646} \text{ [kg] (Equação 9*)}$$

$$\underline{\text{Ramos}} = 108,5769 * cu^{1,3464} \text{ [kg] (Equação 10*)}$$

$$\underline{\text{Folhas}} = 22,5773 * cu^{1,1690} \text{ [kg] (Equação 11*)}$$

$$\text{Total} = \text{Lenha no tronco, pernadas e braçada} + \text{Ramos} + \text{Folhas}$$

(Equação 12, *Fonte: Tomé *et al*, 2007)

Onde: *cu* é a circunferência ou perímetro medido a 1,30m (cm)

Relativamente às árvores mortas, estas foram inventariadas ao longo do trabalho de campo, contudo os resultados obtidos são apenas válidos para o ano de inventariação, devido à dificuldade de perspectivar a quantidade de BFR proveniente de sobreiros mortos noutros anos.

Causas naturais como incêndios, secas severas, pragas entre outros podem fazer variar de modo significativo os valores passíveis de se obter.

Dado este facto, a BFR proveniente de árvores mortas nas áreas de montado de sobro não foi acrescentada à avaliação da produção potencial de biomassa na área de estudo.

Ainda assim, como foi dito anteriormente, as árvores mortas foram inventariadas, e as quantidades de BFR daí provenientes no ano de inventariação foram apresentadas meramente para título informativo.

Em seguida foi feito o tratamento estatístico assente nos mesmos moldes do que foi realizado para os matos, as fórmulas utilizadas constam no anexo III.

Após a conclusão do tratamento estatístico dos dados registados no terreno, fez-se a extrapolação para a área total ocupado pelo montado, do valor médio populacional (em unidades de biomassa) tendo em conta a densidade de ocupação. Este processo foi repetido duas vezes – para BFR proveniente de podas e de árvores mortas respectivamente.

Os valores de humidade da biomassa foram obtidos após consulta de bibliografia

- Metodologia para avaliação energética da BFR proveniente sobreiros:

O valor de PCS foi obtido através de consulta bibliográfica.

O poder calorífico inferior foi calculado através da aplicação da equação 7, referida anteriormente, a taxa de humidade considerada foi de 35%, o valor de hidrogénio usado resultou de consulta bibliográfica.

Com os valores do PCS e PCI finais, foi possível determinar a quantidade de energia por unidade de massa, e extrapolar o valor obtido para a quantidade total disponível de ser extraída na área de estudo, na base seca e no material com 35% de humidade respectivamente.

5.2.1.3 Metodologia de quantificação e avaliação energética da BFR proveniente de pinheiros.

- Metodologia para quantificar a BFR:

A metodologia de quantificação de BFR de pinheiros foi muito semelhante da metodologia aplicada aquando da quantificação de BFR de sobreiros.

Apenas existe uma mancha de pinhal dentro dos limites da ZIF em estudo, sendo esta pertencente a um único proprietário. Trata-se de um povoamento já desenvolvido e com um tempo de vida útil alargado.

Através do contacto directo com o proprietário, pode-se constatar que a exploração do pinhal visa unicamente a obtenção de fruto - a pinha. Para além disso o proprietário facultou outras informações relativas à gestão florestal do pinhal, nomeadamente: a limpeza de matos é feita anualmente de modo a evitar a competição hídrica e a facilitar as operações de colheita de fruto; e é efectuada poda em todo o povoamento a cada seis anos. O objectivo da poda é o favorecimento da produção de fruto, pelo controlo da luminosidade e pressão de competição.

Contudo o proprietário esclareceu que o intervalo entre podas pode variar conforme os anos hidrológicos, as taxas de crescimento e o estado de saúde do povoamento.

Por último o proprietário ainda fez questão de salientar que não prevê qualquer utilização para os resíduos gerados pela poda, normalmente a remoção e o uso dados a estes, está a cargo da empresa que efectua as podas.

Por coincidência a poda do pinhal teve lugar algum tempo antes do trabalho de campo realizado para quantificar a BFR, e pode-se constatar que realmente a quantidade de resíduos gerados é significativa.



Figura 28 - Ilustração dos resíduos resultantes da poda dos pinheiros na ZIF em estudo.

Tiradas as elações da entrevista realizada ao proprietário, pode-se concluir que a única operação florestal geradora de BFR no povoamento de pinhal é a poda. Posteriormente foi possível montar uma metodologia para a quantificação dos resíduos gerados.

Tal como aconteceu nos sobreiros, as amostras realizadas foram distribuídas pelos diferentes estratos, segundo as exposições das encostas relativamente ao sol.

O trabalho de campo mais uma vez consistiu em localizar no terreno as amostras para medição de parâmetros biométricos (variáveis independentes). Os dados recolhidos permitiram a resolução de equações para estimar a quantidade de biomassa resultante das podas do pinhal.

Antes de apresentar as equações é importante salientar, que as amostras possuíam 200m² de área com formato rectangular para facilitar a sua delimitação, devido ao facto do terreno estar preparado em terraços. A delimitação das parcelas de amostragem efectuou-se através de fita métrica, e foi tido em conta, entre outras recomendações do manual “*Instruções de Campo do Inventário Florestal Nacional– IFN 2005/2006*”, sobre as correcções a efectuar de modo a compensar o declive entre terraços.

Os parâmetros medidos ao nível da árvore foram: a circunferência a 1,30m de altura (m) e a altura total (m). Os aparelhos usados para o registo destes dados foram a fita métrica e o clinômetro electrónico (Haglof -HEC) respectivamente.

O povoamento apresenta grande homogeneidade quanto à idade, portanto foram contabilizados e medidos todos os indivíduos presentes nas parcelas amostradas, não se verificando a existência de árvores menores.

Tal como efectuado para o caso dos sobreiros, procurou-se estimar a biomassa da copa ao nível da árvore e assumiu-se igualmente que a fracção retirada em podas corresponde a 30% do total da biomassa da copa.

Para o cálculo da biomassa total da copa, somou-se a biomassa obtida nas componentes - “ramos” e “folhas”.

Utilizaram-se as equações de Tomé et al. (2007d) específicas para o pinheiro manso (*Pinus pinea*):

$$\text{Ramos} = 184,9365 * C^{3,0344} \quad \text{(Equação 13)}$$

$$\text{Folhas} = 22,2677 * C^{1,7607} * \left[\frac{h}{d}\right]^{-0,5003} \quad \text{(Equação 14)}$$

Onde: C é a circunferência da árvore medida a 1,30m de altura (m); d – diâmetro da árvore medido a 1,30m de altura (cm); h – altura total (m).

Findo o trabalho de campo, foi efectuado o tratamento dos dados registados utilizando a análise estatística (Amostragem estratificada proporcional – ver Anexo III).

Após a conclusão do tratamento estatístico dos dados registados no terreno, fez-se a extrapolação para a área total ocupada pelo povoamento de pinheiros do valor médio populacional (em unidades de biomassa) tendo em conta a densidade de ocupação.

Considerou-se para a extrapolação deste tipo de BFR, podas dos pinheiros em seis em seis anos.

Com a consulta bibliográfica obteve-se o valor médio de humidade dos resíduos verdes provenientes de pinheiros.

- A metodologia para avaliação energética da BFR proveniente do pinhal:

O valor de PCS para biomassa residual em base seca foi obtido através de consulta bibliográfica.

Conhecendo igualmente a percentagem típica de hidrogénio para as espécies resinosas e assumido um valor de humidade de 35%, pode-se estimar o poder calorífico inferior dos resíduos provenientes de podas de pinheiros.

Com os valores do PCS e PCI finais, foi possível determinar a quantidade de energia por unidade de massa, e extrapolar o valor obtido para a quantidade total disponível para extracção na área de estudo, na base seca e no material com 35% de humidade respectivamente.

5.2.1.4 Metodologia de quantificação e avaliação energética da BFR proveniente de Eucaliptos.

- Metodologia para quantificar a BFR:

A área estimada de eucaliptal foi de aproximadamente 16 hectares, distribuída em três parcelas.

O objectivo do eucaliptal é a produção de rolaria com destino à indústria de papel.

Foi possível observar no terreno que o regime cultural em todas as parcelas de eucalipto é a talhadia, ou seja o povoamento provém de rebentos ou pôlas de origem caulinar ou radicular.

Através de contactos directos com alguns proprietários foi possível saber que o tempo de rotação médio para os povoamentos de eucalipto é de 11 anos.

Portanto a cada 11 anos, geram-se nos eucaliptais resíduos como ramos e topos ou bicadas, que até então não tinham qualquer tipo de interesse de exploração por parte da indústria que comercializa a rolaria.

A metodologia seguida para determinar a quantidade potencial de BFR proveniente dos topos ramos a cada 11 anos assentou mais uma vez no trabalho de campo para recolhas

de parâmetros biométricos. À semelhança dos procedimentos seguidos nas outras espécies arbóreas forma recolhidos dados em diversas amostras distribuídas segundo a exposição solar. As amostras tinham de área 200 m^2 , e formato rectangular devido às condições do terreno.

Tanto o declive das encostas onde se encontrava o eucaliptal como a densidade do povoamento, tornaram a execução do trabalho de campo particularmente difícil, como tal, neste caso mais de que qualquer outro foi necessário seguir à risca as recomendações do manual “: *Instruções de Campo do Inventário Florestal Nacional – IFN 2005/2006*”, para evitar erros de medição.

O trabalho de campo foi efectuado em apenas um dos três eucaliptais encontrados no limite da ZIF porque alguns dos proprietários não são aderentes à ZIF e o povoamento de eucaliptos na parcela onde foi efectuada a amostragem possui 11 anos de idade.

Estando o povoamento na fase final de rotação, torna-se desnecessário a aplicação de modelos para estimar o crescimento do povoamento. A partir dos valores obtidos neste caso pode-se fazer a extrapolação para as restantes áreas de eucaliptos na ZIF, pois dado à proximidade geográfica assume-se que as diferenças de crescimento não serão significativas.

Outra origem possível de BFR de povoamento de eucalipto é a biomassa resultante de desbastes e selecção de toijas. No entanto os proprietários entrevistados consideram mais vantajoso manter esse tipo de resíduos no solo, para recuperar nutrientes necessários à alimentação da nova geração de árvores. Esta medida têm ainda mais lógica, quando se tem o conta o facto de os desbastes serem realizados na altura onde se regista as maiores taxas de crescimento do povoamento e conseqüentemente existe uma maior exigência de nutrientes disponíveis no solo.

A BFR proveniente de cepos também não pode ser equacionada, o regime de talhadia é o que vigora na ZIF em estudo, e portanto não se verifica a remoção de cepos.

Dados às circunstâncias apenas foi contabilizada a biomassa proveniente de topos e ramos aquando do corte final dos eucaliptais.

A correlação entre a massa de ramos e topos, (kg verdes/árvore), é dada pela equação 15:

$$M_{RT} = 0,1785 * DAP^{1,756} \quad \text{(Equação 15 - Fonte: Fernandes, P., 1998)}$$

Onde: M_{RT} – é a BFR proveniente de ramos e topos; DAP – diâmetro medido a altura do peito (cm).

O eucalipto é essencialmente utilizado pela indústria da pasta de papel, onde cerca de metade dos toros dão entrada sem casca, sendo esta previamente retirada na floresta (ANIP, boletim estatístico, 2000).

A massa da casca (kg verdes/árvore) é dada através da equação 16:

$$M_C = 0,01432 * DAP^{2,798} \quad \text{(Equação 16 - Fonte: Fernandes, P., 1998)}$$

Onde: M_C - é a BFR proveniente da casca de eucalipto; DAP – diâmetro a altura do peito.

A biomassa total ao nível da árvore resultará portanto da soma do total da biomassa passível de ser extraída de ramos e topos com metade do total da biomassa proveniente da casca de eucalipto.

Na pesquisa bibliográfica foram encontrados valores de humidade para os resíduos de eucalipto diferentes consoante se trate de ramos e topos ou casca.

Nas parcelas de amostragem, o DAP foi medido em todas as árvores maiores, ou seja com diâmetro superior a 5 cm. Para além disso foram contadas as árvores menores (com diâmetro inferior a 5 cm), o regime cultural, origem do povoamento, existências de cortes rasos ou desbastes, o número de rotação entre outras informações consideradas relevantes.

O tratamento estatístico dos dados registados seguiu os meus moldes que nos casos anteriores.

Depois de concluir o tratamento estatístico dos dados registado, fez-se a extrapolação do valor médio populacional de BFR disponível ao nível da árvore para a área total, tendo em conta a densidade de ocupação. O quociente do valor resultante da extrapolação por onze resultará no valor médio de BFR passível de ser extraída por ano.

- A metodologia para avaliação energética:

A metodologia para avaliação energética da biomassa potencial a ser extraída dos eucaliptais foi idêntica aos casos anteriores.

O PCS e a percentagem de hidrogénio foram consultados em bibliografia, posteriormente calculou-se o PCI com base na equação 7 do presente trabalho.

A energia potencial de um combustível é igual ao produto da massa do combustível com o seu poder calorífico. Este resultado pode ser obtido usando os valores de PCS com a massa do combustível em base seca, ou por outro lado, usando valores de PCI com a massa de combustível para uma dada percentagem de humidade.

O resultado final em ambas as situações será a quantidade total de energia disponível a partir da BFR passível de ser extraída.

5.2.2 Análise da disponibilidade de biomassa florestal residual

Como já mencionado anteriormente, nem toda a biomassa potencial pode ser viável de explorar. A colheita de BFR presente em zonas de declive acentuado e longe de estradas transitáveis não é possível ser recolhida, sem que isso represente um aumento significativo nos custos associados à sua exploração, dado às limitações físicas.

A BFR economicamente viável de recolher assenta no pressuposto de que os custos de recolha de biomassa não podem transcender os custos oferecidos pelo consumidor.

A metodologia para a análise da disponibilidade da BFR inclui as seguintes componentes: determinação das áreas de exploração de biomassa, compilação dos custos das operações, determinação dos raios de abastecimento e determinação do rendimento líquido médio da BFR para o produtor.

5.2.2.1 Determinação das áreas de exploração de BFR

As áreas passíveis de serem exploradas para recolha de BFR são definidas como as áreas onde não existem quaisquer limitações ao nível dos regimes legais específicos de planeamento florestal, e simultaneamente não apresentam limitações físicas e

ambientais demasiado relevantes que torne inviável economicamente a extracção de biomassa.

- Limitações físicas:

A floresta disponibiliza uma quantidade de resíduos que são na sua maioria passíveis de serem explorados. No entanto, face às condições limitadoras de dois factores físicos, nomeadamente o declive do terreno e a distância à rede viária, surgiu a necessidade de ponderar a actuação destas restrições na possibilidade de extracção de resíduos dos povoamentos florestais.

Relativamente aos factores físicos a considerar, para o declive, definiu-se três classes (tabela 10).

Classes de Declive	Factores de Ponderação
<15%	1
15-35%	2
>35%	4

Tabela10- Classes de declive relativamente à floresta da ZIF

Para declives inferiores a 15%, não há limitações relativamente à exploração de povoamentos. Para valores de declives compreendidos entre 15 e 35%, as operações executam-se com algumas limitações, principalmente quanto à possibilidade e ao tipo de máquinas a utilizar. As áreas onde os valores de declive são superiores a 35% apresentam elevadas restrições quanto à explorabilidade dos povoamentos. A partir do recurso ao software SIG (ArcGis 9.3 – Arc Map), utilizou-se a carta altimétrica para produção do mapa de declives. Através da extensão 3D Analyst, foi possível realizar o mapa de declives com as classes pretendidas (Anexo I).

Para além das cartas de declive foram definidas as classes de acessibilidade à rede viária com distâncias entre os 0-100 m, dos 100 aos 250 m e superior a 250 m (tabela 10).

A rede viária foi construída no ArcMap (ESRI) através das cartas militares georreferenciadas, e complementada com imagens do Google Earth para desenhar redes viárias mais recentes, e que não estavam incluídas nas cartas militares utilizadas, assim como para verificar os tipos de estradas (o mapa encontra-se no Anexo I).

Na definição das classes de acessibilidade, utilizou-se a extensão ArcToolbox (Analysis Tools – Proximity – Buffer), criando-se assim áreas em torno da rede viária principal, secundária e terciária.

Mais detalhadamente foram feitos dois buffers, um com a área que engloba a distância à rede viária dos 0 aos 100 m e outro dos 0 aos 250. Para obter a área com distância à rede viária superior a 250 m, foi feita uma intercepção entre a área total e o buffer que contém a área da distância à rede viária dos 0 aos 250 m. O mapa final das três classes de acessibilidade encontra-se no anexo I.

Classes de Declive	Factores de Ponderação
0-100m	1
100-250m	2
>250m	2

Tabela 11 – Classes de Acessibilidade relativamente à floresta da ZIF

A *posteriori* procedeu-se ao cruzamento destas classes (classes de declive e de acessibilidade) através de um software (ArcGis 9 – ArcMap – versão 9.3), obtendo-se a intercepção da ocupação florestal (eucaliptos, sobreiros, pinheiros e matos) com as classes de declive e as classes de acessibilidade. A soma dos factores de ponderação atribuídos anteriormente permitiu definir as classes de explorabilidade (tabela 12).

Classes de Explorabilidade	Combinação entre as Classes de declive e a distância à rede viária	Descrição	Soma factores de Ponderação
Classe 1	0-15%; 0 - 100 m	Explorabilidade elevada sem restrições	<3
Classe 2	<15%; >250m <15%;>250 m 15-35%; 0-100 m 15-35%; 100-250 m 15-35%;>250m	Explorabilidade média com pequenas restrições	3 a 4
Classe 3	> 35%; 0-100m >35%; 100 - 250 m; >35%; 100-250m	Explorabilidade reduzida com grandes restrições	>4

Tabela 12 – Classes de Explorabilidade relativamente à Floresta DA ZIF

As classes de declive tiveram mais peso na definição das classes de explorabilidade comparativamente com as classes de distância à rede viária. Os argumentos para tal decisão prendem-se com as características geográficas da ZIF. Trata-se de uma área com declives bastantes acentuados, e com uma densidade de rede viária considerável face à sua dimensão. As áreas com distâncias à rede viária superiores a 250 m no interior da ZIF são pouco notáveis e o acréscimo em metros é pouco significativo, como tal verificou-se que o factor mais importante a ter em conta seria os declives.

Foi construído um conjunto de nove mapas para as espécies arbóreas e outros nove mapas para as espécies arbustivas, com as várias combinações possíveis entre as classes de acessibilidade e as classes de declive. O objectivo final da construção destes mapas foi mapear e calcular as áreas passíveis de serem exploradas para aproveitamento de BFR segundo as classes de explorabilidade definidas, todos estes mapas encontram-se no anexo I.

- Regimes legais específicos:

Interessa aqui destacar se existe algum impedimento legal que impossibilite a recolha de BFR, dado que as ZIF's têm linhas estratégicas de gestão florestal específicas.

Os regimes legais específicos actuam através instrumentos de planeamento florestal ou instrumentos de gestão territorial.

Ao nível dos instrumentos de planeamento florestal interessa destacar os que actuam de uma forma mais restrita ao nível do concelho e cujos objectivos estratégicos possam condicionar a recolha de BFR.

Assim sendo o PROF (plano regional de ordenamento florestal) é o instrumento a ter em conta, pois este prevê a definição de normas de intervenção para os espaços florestais e modelos de silvicultura, aplicáveis a povoamentos tipo, com vista ao cumprimento de objectivos enunciados.

Da análise resultante aos principais objectivos enunciados no PROF para a unidade territorial onde se encontra inserida a ZIF em estudo, foram destacados os que eventualmente podem entrar em conflito com a exploração de BFR, nomeadamente:

1. Favorecer e expandir os habitats de suporte à fauna e flora protegida;
2. Recuperar áreas em situação de maior risco de erosão;
3. Aumentar o nível de gestão de recursos apícolas;
4. Adequar os espaços florestais à crescente procura de valores paisagísticos, de actividades de recreio e de actividade cinegética.

Contudo, foi previsto com a definição de classes de explorabilidade, a exploração de BFR apenas em zonas com declive menor que 35%. Atendendo a que a ZIF apresenta grandes áreas com declives elevados, conclui-se segundo a metodologia aplicada, que a exploração de BFR está muito restrita em termos espaciais, portanto como não existe uma intervenção na área total da ZIF os objectivos contemplados no PROF ficam salvaguardados.

Assim sendo, as acções delineadas para aplicação dos objectivos acima mencionados previstos no PROF, de todo não são incompatíveis com a exploração de BFR apresentada nestes moldes.

Concluindo não existem restrições plausíveis a nível de instrumentos de planeamento florestal que possam condicionar a exploração de BFR.

Analisando agora os instrumentos de gestão florestal, foi constatado que a ZIF em estudo é abrangida parcialmente pela Reserva Agrícola Nacional, Reserva Ecológica Nacional e Rede Natura 2000.

Destas três classificações as últimas duas sugerem de facto, uma salvaguarda especial das áreas abrangidas com o objectivo de prever catástrofes provenientes do mau uso do solo, má ocupação e gestão. Estas ferramentas de ordenamento podem não ser consensuais com o interesse de explorar BFR.

Contudo são previstas excepções a determinadas interdições previstas no âmbito destes instrumentos, que sejam compatíveis com os objectivos de protecção ecológica e ambiental e de prevenção e redução de riscos naturais de áreas integradas na REN e na Rede Natura.

A serra do caldeirão apesar de algumas intervenções continua-se a verificar nesta área a existência de material de combustível que constitui uma potencial massa para iniciar um incêndio.

A recolha parcial de BFR através da desmatção do sub-coberto e podas de árvores, vai permitir criar faixas de descontinuidade de vegetação, assim será criado um obstáculo à propagação de incêndios por não haver continuidade vertical de combustíveis desde o estrato herbáceo ao estrato arbóreo. A serra do caldeirão é uma zona com alto potencial de produção de material lenhoso, a exploração de BFR pode portanto ser encarada como uma medida preventiva à ocorrência de incêndios.

Em suma à semelhança dos instrumentos de planeamento florestal, os instrumentos de gestão territorial também não prevêm interdições à exploração de BFR nos moldes como esta é sugerida neste trabalho.

Como conclusões finais relativas à determinação das áreas de exploração de BFR, temos que as limitações a ter em conta são as limitações físicas causadas pelo relevo acidentado, essas limitações estão patentes nas classes de explorabilidade delineadas.

A nível de regimes legais não são encontradas limitações à exploração de BFR, inclusive existem contemplanções ao aproveitamento de resíduos para energia, a um aumento da desmatação em prol da sobrevivência dos montados, e à realização de podas com o objectivo de melhorar a sanidade das árvores. Contudo é recomendado a secagem e compactação antes da remoção dos resíduos para aumentar a taxa de libertação de elementos finos ricos em nutrientes. Perante estas recomendações a metodologia usada para auferir a BFR disponível prevê, para além do que já foi apontado, um decréscimo de 10% na recolha de resíduos de modo a contemplar as percas de materiais finos importantes à regeneração de nutrientes nos solos.

5.2.2.2 Compilação de custos das operações de exploração de BFR

Neste trabalho assume-se que o custo de biomassa é a soma dos custos das operações individuais que constituem a cadeia de abastecimento, associado de uma percentagem que se admitiu ser a margem de comercialização.

A cadeia de abastecimento é constituída pelo abate, processamento, transporte primário, trituração e transporte secundário até ao ponto de consumo.

Na exploração de resíduos provenientes das espécies arbóreas foram imputados apenas as três últimas operações às operações de comercialização de BFR, porque as restantes operações são efectuadas obrigatoriamente para assegurar o produto principal, a rolaria, cortiça ou fruto.

Para a exploração de resíduos provenientes de matos foram previstas mais duas operações: a operação de corte e a operação de ajuntamento.

A limpeza de matos é uma operação necessária na gestão das espécies arbóreas e consequentemente na obtenção do produto principal. Já foi mencionado anteriormente que a limpeza dos matos aumenta a probabilidade de sobrevivência das árvores, através da diminuição do risco de incêndio e da concorrência hídrica e do aumento da regeneração natural. Como tal as operações de abate e processamento de matos logicamente também devem ser imputadas à exploração do produto principal das

espécies arbóreas, é importante aqui relembrar que na ZIF em estudo a maior parte da área é ocupada por montado de sobreiro.

Embora a limpeza de matos seja necessária pelo menos parcialmente, não é obrigatória. É possível a obtenção do produto principal aquando da exploração das espécies arbóreas, sem que se verifique a limpeza de matos, até mesmo a nível de instrumentos de gestão florestal apenas é previsto a penalização efectiva da não realização de limpezas de matos nos mínimos previstos, ou seja em faixas de combustíveis previamente delimitadas. Assim sendo verifica-se um abandono do território rural com consequência do declínio dos montados de sobreiro e a ZIF em estudo não é excepção.

Perante estes factos achou-se pertinente avaliar todos os custos envolvidos na exploração de BFR proveniente de matos, só assim contabilizando todas as despesas inerentes a esta operação é que será possível uma avaliação económica realística.

Os custos de operação de transporte primário foram obtidos a partir dos dados disponibilizados no trabalho “*Optimização das Operações de Exploração Florestal, Recolha, Acondicionamento, Transporte e Transformação Primária da Biomassa Florestal Residual para a Produção de Energia* (CBE, 2004)”. Este trabalho foi realizado nos distritos de Coimbra e Viseu com o propósito de estimar a produtividade e os custos das operações ligadas à exploração da BFR.

Foram calculados custos médios das operações de transporte primário e trituração apenas utilizando os casos em que os trabalhos de campo tenham decorrido dentro da normalidade. Situações de custos muito elevados devido a problemas de logística, demasiados recursos sem acréscimo de produtividade ou falta de experiência, foram excluídos.

Os custos médios de transporte primário variam consoante o tipo de máquinas utilizadas (camião, *forwarder* ou tractor agrícola). No âmbito deste trabalho optou-se por considerar o cenário mais conservador, que representa um mercado em que ainda não existe adaptação específica à exploração de BFR. Esta opção teve em conta a realidade nacional e implica que o custo de transporte primário seja formado por 2/3 do custo médio do transporte com tractor agrícola e 1/3 do custo médio do transporte com camião e *forwarder*.

O custo de trituração é constituído por duas operações: alimentação e trituração. O custo médio da operação de trituração resulta da soma dos custos médios de cada uma destas operações. Foi feita uma selecção dos valores do trabalho do CBE (2004) considerando só os que se referiam à trituração de BFR.

O custo total do transporte secundário foi obtido pelos dados disponibilizados no trabalho “*Potencial da biomassa florestal residual para fins energéticos de três concelhos do distrito de Santarém* (2008)”

Foram calculados os custos de transporte secundário com base na realização de inquéritos a cinco transportadoras. O inquérito consistiu no estabelecimento de contactos telefónicos, onde foram solicitadas informações sobre o custo por quilómetro, a tonelagem dos camiões utilizados. Os valores registados referem-se ao custo de transporte secundário de BFR triturada. Os resultados obtidos entre as empresas não foram coerentes, as principais causas apontadas prende-se com a diferença na forma como cada empresa realiza orçamentos, a variação do custo por quilómetro, a disponibilidade da transportadora, o tempo de carga e descarga, e o tipo de trajecto (estradas ou caminhos florestais). Esta divergência levou a que se construísse uma regressão linear, relacionando a distância percorrida e o custo de transporte (€/t).

Os custos de corte e ajuntamento de matos foram obtidos através da consulta das tabelas de custos da Comissão de Acompanhamento das Operações Florestais (CAOF 2008/2009).

A tecnologia contemplada para o corte de matos foi a motorroçadora, uma vez que os corta matos de facas ou martelos estilhaçam o material o que dificulta a tarefa seguinte de recolha.

Os valores tabulados ainda podem variar consoante o declive apresentado e as características da vegetação arbustiva. No âmbito deste trabalho foram considerados os custos máximos, atendendo ao facto de a área da ZIF ser bastante declivosa e o mato bastante denso.

As operações de ajuntamento de matos podem ser realizadas com uma máquina dotada de pá dianteira, ou com tractor com uma alfaia de arrasto atrelada, como por exemplo um escraficador. Para contabilizar estes custos, foram tidos em conta os custos de gradagem de destorroamento presentes nas tabelas da CAOF, por se considerar

operações semelhantes. Mais uma vez os custos considerados para esta operação foram os custos máximos.

Resta ainda salientar no âmbito da compilação dos custos de exploração de BFR, que não foram tidos em conta as possíveis ajudas disponíveis no âmbito do PRODER. As ajudas existentes vão desde a disponibilização de verbas para a aquisição de máquinas e equipamentos necessários à colheita e movimentação de biomassa florestal, até ao financiamento de operações como podas, desramações e corte de matos com o objectivo de melhoria dos povoamentos florestais e defesa da floresta contra incêndios.

5.2.2.3 Determinação dos Raios de Abastecimento

Os raios de abastecimento no âmbito deste trabalho, são importantes para determinar a distância máxima a percorrer com a BFR desde o carregadouro até ao local de consumo. Pretendeu-se também determinar qual a distância real até ao Pavilhão das piscinas municipais de Silves.

A distância média real a percorrer para o cenário previsto, foi determinada manualmente no SIG.

A partir dos valores obtidos ajustaram-se, através do Microsoft Excel, as rectas de regressão linear para a distância real percorrida. Estas funções relacionam a distância de custos de transporte com o seu custo final. As distâncias máximas a percorrer foram estimadas através da resolução das funções acima mencionadas e considerando o preço oferecido no mercado.

Para a determinação do preço oferecido, achou-se prudente contactar directamente com os técnicos responsáveis pela comercialização de BFR na central de Mortágua, visto que se trata de um mercado já com alguns anos de implementação e com alguma maturidade. O resultado dos contactos estabelecidos foi a informação que a BFR está a ser comercializada a 28€/t com 35% humidade, e que à parte deste valor oferecido, existe um sistema de incentivos que beneficia quem entrega à porta da fábrica resíduos com uma percentagem de humidade menor e livre de contaminantes.

Contudo o preço considerado neste trabalho foi apenas 28€/t, é importante salvaguardar ainda, que a finalidade da biomassa paga a este preço é a produção de energia eléctrica,

e não o aproveitamento do calor (energia térmica) como sugerido no cenário para as piscinas de Silves.

5.2.2.4 Determinação do rendimento líquido médio da BFR para o produtor

A metodologia indicada para estimar o custo total da BFR não inclui o custo da matéria-prima. Tal deve-se ao facto de não haver informação sobre esse valor, mas também porque se assumiu de início que, sendo a BFR um resíduo, não existem usos concorrentes, para além dos serviços ambientais e, como tal, o seu valor é nulo. Neste sentido, a diferença entre o preço oferecido pelo consumidor e o custo final da BFR corresponde ao rendimento líquido do produtor. Note-se que se está a assumir que o preço oferecido é constante em função da quantidade.

Para calcular o rendimento líquido médio da BFR para o produtor é necessário transformar as funções obtidas no ponto 5.2.2.3, para relacionar o custo final da BFR com a quantidade disponível de BFR.

O lucro total da venda de BFR (Eq.19) é igual à diferença entre a receita e os custos totais (Eq. 17 e 18). Para o cálculo da receita total (RT) foi assumido que o preço de mercado (PM) é igual ao preço oferecido pelo consumidor. O quociente entre o lucro total e a quantidade de BFR comercializada é igual ao rendimento líquido médio unitário da BFR e que pode ser considerado o valor da matéria-prima (Eq. 20).

$$RT = P_M Q_{BFR, \%H} \text{ (Equação 17)}$$

$$CT = C_{BFR} Q_{BFR, \%H} \text{ (Equação 18)}$$

$$LT = RT - CT \text{ (Equação 19)}$$

$$RL_{BFR, \%H} (\text{€/t}) = \frac{LT}{Q_{BFR, \%H}} \text{ (Equação 20)}$$

Em que:

$Q_{BFR;\%H}$ = Quantidade de BFR em função da % humidade ($t. ano^{-1}$)

C_{BFR} = Custo exploração BFR em função da distância (€/t)

RT = Receita total (€)

P_M = Preço de mercado; preço oferecido pelo consumidor (€/t)

CT = Custo total (€)

LT = Lucro total (€)

$RL_{BFR;\%H}$ = Rendimento líquido médio de BFR para o produtor em função da % de humidade

5.2.3 Construção de Cenários que Visem o Aproveitamento da BFR e Análise da sua Potencial Vantagem Económica e Ambiental.

Perante as quantidades de biomassa sob forma de estilha passíveis de se obter em resultado da exploração dos povoamentos florestais e do sub-coberto arbustivo na ZIF de Arade/Alte São Bartolomeu de Messines, e que não são valorizadas, achou-se pertinente avaliar a opção do seu aproveitamento energético.

A opção e aproveitamento energético de BFR proveniente de podas de árvores e do corte de matos apesar de ser uma alternativa “amiga do ambiente”, em muitos casos foram também provados que é vantajosa economicamente.

Para o efeito foram consideradas as várias situações actuais de consumo de energia térmica em equipamentos municipais, tendo sido seleccionada o caso das Piscinas Municipais de Silves em que pareceu ser possível considerar soluções alternativas com recurso à biomassa disponível.

Serão apresentados dois cenários e realizadas as suas análises:

- Cenário 1 – Substituição da caldeira actualmente existente por uma caldeira a biomassa e aproveitamento da estilha proveniente das espécies arbóreas, onde os custos intrínsecos à cadeia de abastecimento são: custos de transporte primário, trituração e transporte secundário;
- Cenário 2 - Substituição da caldeira actualmente existente por uma caldeira a biomassa e aproveitamento da estilha proveniente dos matos, onde os custos intrínsecos à cadeia de abastecimento são: custos de corte, ajuntamento, transporte primário, trituração e transporte secundário;

Na análise económica e ambiental dos cenários propostos, é necessário ter em conta que, comparativamente com o gás propano (combustível actualmente usada nas Piscinas de Silves), a biomassa é um combustível mais barato e para qual a emissão de CO_2 na combustão é considerada neutra. Por outro lado, o seu poder calorífico é bastante inferior em relação ao poder calorífico do gás propano, e são necessárias alterações nas tecnologias usadas na produção de energia térmica que implicam um investimento significativo.

Assim, a análise feita é uma comparação, de base anual, dos custos de compra de gás propano e dos custos de manutenção das caldeiras térmicas existentes na actualidade, com os custos de compra de BFR e os custos de manutenção das caldeiras de biomassa, e tendo em conta o investimento inicial a ser feito correspondente à mudança de tecnologia usada.

Os dados referentes ao tipo de combustível, tipo de tecnologia térmica, e os consumos anuais e mensais referentes às piscinas de Silves foram disponibilizados pelo técnico responsável pela manutenção.

Foram assumidos os seguintes pressupostos:

Pode calorífico do Gás propano: 46,35 MJ/Kg.

Preço actual do Gás propano: 1,449€/Kg com IVA.

Para o cálculo das emissões de CO_2 , de acordo com a portaria nº 121/2005, assumiu-se a seguinte equação:

$$E(tCO_2) = Energia (TJ) * Factor de emissão (tCO_2.TJ^{-1}) * Factor de Oxidação.$$

(Equação 21)

Utilizou-se um factor de emissão de 63,1 ($tCO_2.TJ^{-1}$) e um factor de oxidação de 0,995 (PNALE, 2007).

O preço de biomassa assumido foi de 28€/t mais IVA, com 35% de humidade em média. O custo de biomassa é dado pelo produto da quantidade necessária de biomassa para cobrir as necessidades energéticas (kg) pelo custo dos resíduos (€/kg).

Considerou-se um rendimento de 80% em ambas as caldeiras.

O custo de investimento para implementação da tecnologia com combustível a BFR é de 252.096,13€, para além disso todo este sistema exige uma manutenção anual que envolve encargos no valor de 7715,38€ ao ano, a tabela 13 especifica os gastos envolvidos.

Custos Envolvidos com a Instalação do Sistema de Produção de energia térmica a Biomassa.			
<i>Quantidade</i>	<i>Designação</i>	<i>Custo de aquisição e instalação (total)</i>	<i>Custo de manutenção (total/ano)</i>
2	Caldeira para combustão de estilha Potência unitária 800KW- Modelo CSA 800	200000 (as 2)	6688,056
1	Sistema de alimentação de estilha para caldeira a biomassa	15224,52	532,858
1	Sistema adicional de enchimento de silo para biomassa	6.234,18	249,37
1	Contentor pré-fabricado para armazenamento de estilha de madeira	30637,43	245,10
	Total (€)	252.096,13	7715,38

Tabela 13- Custo Tecnologia de produção energia térmica a partir estilha (Fonte: <http://www.geradordeprecos.info/obra->)

É importante referir neste âmbito, que os valores económicos de cada um dos artigos apresentados, com excepção do custo de aquisição e instalação das caldeiras CSA 800 que foram fornecidos pela empresa Instalvento, são preços de referência estimados por software (Engenharia e construção – Cype) e que levam em conta determinadas condicionantes que se podem conhecer antecipadamente. Contudo existem outras condicionantes que nunca poderão prever-se *a priori*, que dependem de vários factores específicos e que não são aqui previstos.

O custo de manutenção do sistema actual ao ano é de 1500€.

O benefício anual líquido (Ba) da utilização de BFR como combustível é, neste caso, a diferença entre a soma dos custos de aquisição de gás propano e dos custos de manutenção da caldeira a gás e a soma dos custos de aquisição da BFR e dos custos de manutenção da caldeira a biomassa (Eq.22).

$$Ba = C_{Gás\ Propano} + C_{manutenção\ caldeira\ Gás} - C_{BFR} - C_{manutenção\ caldeira\ BFR}$$

(Equação 22)

Em que:

$C_{Gás\ Propano}$ = custo de aquisição do gás propano

$C_{manutenção\ caldeiras\ Gás}$ = Custos manutenção relativos à tecnologia de produção de energia térmica a partir do Gás propano.

C_{BFR} = Custos da aquisição de BFR

$C_{manutenção\ caldeiras\ BFR}$ = Custos manutenção relativos à tecnologia de produção de energia térmica a partir da BFR.

6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1 QUANTIFICAÇÃO DA BIOMASSA FLORESTAL RESIDUAL POTENCIAL

6.1.1 Matos

Em relação aos matos (sub-coberto), o valor médio obtido, de biomassa por parcela ($9m^2$) é de aproximadamente 14,6 kg/verdes (tabela 14)

Variáveis estatísticas	Resultados	
Média Por Estrato	Frio	15,2
	Plano	11,8
	Quente	15,9
	Temperado	14,8
Variância Por Estrato	Frio	48,3
	Plano	29,6
	Quente	9,3
	Temperado	17,8
Desvio Padrão	Frio	6,9
	Plano	5,4
	Quente	3,0
	Temperado	4,2
Coeficiente de Variação	Frio	45,7
	Plano	46,1
	Quente	19,1
	Temperado	28,6
Média Populacional	14,6	
Variância Populacional	0,98	
Desvio Padrão Populacional	5,1	
Erro padrão	0,99	
Erro padrão em % Média	6,8	
Erro Amostragem	2,0*	
Intervalo confiança	[12,6; 16,7]	
Erro Amostragem em % da Média	13,9	

*kg/ $9m^2$ com $t=2,056$ para 26gl (0,05)

Tabela 14 – Tratamento estatístico dos dados registrados para os Matos

Conhecendo o valor médio (kg/verde) por amostra, tendo presente a área total da ZIF com ocupação de matos e o intervalo de tempo considerado para a extrapolação (5

anos), é possível auferir a produção anual potencial a obter através dos Matos (tabela 19).

No tratamento estatístico efectuado na avaliação da BFR, tanto no caso dos matos, como nas espécies arbóreas foram realizados testes de normalidade (Kolmogorov-Smirnov e Shapiro-Wilk) com recurso ao software Spss (versão 17.0) para confirmar a aplicação da inferência estatística paramétrica através do intervalo de confiança para a média. Em nenhuma das situações a hipótese de normalidade foi rejeitada.

Ao nível do sub-coberto pode-se constatar através de observação directa que as espécies encontradas com maior frequência e com maior percentagem de área de ocupação foram: a Esteva que registou as maiores taxas de ocupação, seguido pelo Tojo, o Rosmaninho e a Urze. Outras espécies foram encontradas, contudo a percentagem de ocupação foi considerada insignificante.

Relativamente à humidade dos Matos, o valor médio obtido após tratamento estatístico dos resultados auferidos na secagem em estufa de algumas amostras, foi de aproximadamente 49,6%.

O PCS da esteva é de 20,9MJ/kg e resulta da média dos valores obtidos nos três testes realizados no calorímetro.

O PCS dos matos é de 21,9MJ/kg e resultou de uma média ponderada dos valores de PCS das principais espécies encontradas.

6.1.2 Sobreiros

Os valores obtidos na quantificação da BFR potencial provenientes de sobreiros constam nas tabelas abaixo indicadas:

Variáveis estatísticas		Resultados
Média Por Estrato	Frio	30,5
	Plano	31,5
	Quente	35,4
	Temperado	46,5
Variância Por Estrato	Frio	1505
	Plano	997,3
	Quente	1629
	Temperado	6219
Desvio Padrão	Frio	38,8
	Plano	31,6
	Quente	40,4
	Temperado	78,9
Coeficiente de Variação	Frio	127,1
	Plano	100,4
	Quente	113,9
	Temperado	169,7
Média Populacional		34,2
Variância Populacional		8,4
Desvio Padrão Populacional		45,1
Erro padrão		2,9
Erro padrão em % Média		24,6
Erro Amostragem		5,7*
Intervalo confiança		[28,5 39,9]
Erro Amostragem em % da Média		16,6

Tabela 15- Tratamento estatístico dos dados registados para podas de Sobreiros
*kg /árvore – t=1,960 para 242 g.l (0.05)

Variáveis estatísticas		Resultados
Média Por Estrato	Frio	207,61
	Plano	0
	Quente	77,5
	Temperado	117,1
Variância Por Estrato	Frio	21204
	Plano	0
	Quente	4340
	Temperado	0
Desvio Padrão	Frio	145,6
	Plano	0
	Quente	65,9
	Temperado	0
Coeficiente de Variação	Frio	10213
	Plano	0
	Quente	5602
	Temperado	0
Média Populacional		127,5
Variância Populacional		1539,6
Desvio Padrão Populacional		100,3
Erro padrão		39,2
Erro padrão em % Média		30,8
Erro Amostragem		100,9*
Intervalo confiança		[26,6 228,3]
Erro Amostragem em % da Média		79,2%

Tabela 16- Tratamento estatístico dos dados registados para diferentes componentes dos sobreiros (árvores mortas)

As tabelas 15 e 16 apresentam os valores (kg/verdes) obtidos dos resíduos de podas das árvores vivas e dos resíduos das diferentes componentes das árvores mortas respectivamente.

Foram inventariadas 243 árvores vivas e 6 árvores mortas num total de área amostrada de $13500m^2$, a partir destes valores pode-se estimar que existe em média 180 árvores vivas e 4,4 árvores mortas por hectare.

Conhecendo a área total ocupada pelos sobreiros, a densidade de árvores por hectare, os quilogramas médios de resíduos a obter por indivíduo, e o intervalo de tempo tido em conta para a extrapolação é possível obter a quantidade potencial de BFR passível de ser extraída por ano.

No caso da BFR proveniente de árvores mortas não foi efectuada extrapolação.

Os resultados finais constam na tabela 19.

6.1.3 Pinheiros

Para os pinheiros a densidade de ocupação observada na realização do trabalho de campo foi de 531,25 árvores por hectare, o valor médio de resíduos por árvore foi de 7,4 (kg/verdes) (tabela 17), e o intervalo considerado para a extrapolação foi de 6 anos.

Variáveis estatísticas	Resultados	
Média Por Estrato	Frio	6,8
	Plano	4,9
	Quente	12,2
	Temperado	6,4
Variância Por Estrato	Frio	17,9
	Plano	13,8
	Quente	36,1
	Temperado	26,8
Desvio Padrão	Frio	4,2
	Plano	3,7
	Quente	6
	Temperado	5,2
Coeficiente de Variação	Frio	62,1
	Plano	74,5
	Quente	49,3
	Temperado	80,8
Média Populacional	7,4	
Variância Populacional	0,3	
Desvio Padrão Populacional	5,4	
Erro padrão	0,5	
Erro padrão em % Média	7	
Erro Amostragem	1	
Intervalo confiança	[6,4 8,4;]	
Erro Amostragem em % da Média	13,8	

Tabela 17- Tratamento estatístico dos dados para os pinheiros

***kg /árvore – t=1,960 para 84 g.l (0.05)**

6.1.4 Eucaliptos

Em relação aos eucaliptos o valor médio de BFR obtido por árvore é de 9,3 kg, (tabela 18).

Variáveis estatísticas		Resultados
Média Por Estrato	Frio	11,1
	Plano	7,2
	Quente	8,9
	Temperado	8,7
Variância Por Estrato	Frio	11,1
	Plano	7,2
	Quente	8,9
	Temperado	8,7
Desvio Padrão	Frio	7
	Plano	4,8
	Quente	4,7
	Temperado	7,6
Coeficiente de Variação	Frio	63,3
	Plano	66,6
	Quente	52,8
	Temperado	86,3
Média Populacional		9,3
Variância Populacional		0,2
Desvio Padrão Populacional		6,5
Erro padrão		0,4
Erro padrão em % Média		4,6
Erro Amostragem		0,8
Intervalo confiança		[8,4;10,1]
Erro Amostragem em % da Média		9,1

Tabela 18- Tratamento estatístico dos dados para os Eucaliptos

A densidade de árvores por hectare foi estimada em 1350 indivíduos, sendo o intervalo de tempo considerado para a extrapolação de 11 anos.

A tabela 19 resume as quantidades potências de BFR passíveis de serem exploradas na área de estudo para as espécies arbóreas e arbustivas.

A principal conclusão a extrair da análise da tabela, é que a quantidade de energia potencial anual por unidade de área, e a quantidade de resíduos anuais por unidade de área, apresentam valores mais elevados aquando da exploração de resíduos provenientes de matos, porque os matos geram resíduos a cada 5 anos, ao passo que os eucaliptais são necessários 11 anos.

Se a análise incidir não nos valores anuais, mas sim nos valores disponíveis no momento de corte e processamento de resíduos, pode-se constatar que as quantidades disponíveis por hectare são mais elevadas nos povoamentos de eucaliptos (ao final 11 anos) do que no sub-coberto (ao final 5 anos), no entanto os resíduos provenientes de matos apresentam uma menor humidade e um maior poder calorífico, conseqüentemente, mesmo com esta análise é possível obter mais energia por unidade de área aquando da exploração de matos.

A densidade energética é algo bastante importante a ter em conta no cálculo da viabilidade económica e nas escolhas dos sistemas de exploração de BFR.

Quantificação da Biomassa florestal Potencial e Avaliação energética							
Dados Obtidos	Matos	Sobreiros (Podas)	Sobreiros (árvores mortas)	Eucaliptos (topos, ramos)	Eucaliptos (casca)	Pinheiro (podas)	Total
Toneladas (verdes) no momento do corte	24462	9392,9	864,2	207,1	104,4	54,4	
Intervalo de anos para extrapolação	5	9	0	11	11	6	
Toneladas (verdes) /ANO	4892,4	1043,7	0	18,8	9,5	9,1	
Toneladas (Seco) / ANO	2465,8	442,5	0	8,9	3,9	3,8	
% Humidade #	49,6	57,6	57,6	52,6	59,5	57,6	
PCS (GJ/t) *	21,9	18,4	19,2	17,6	17,6	18,4	
Área de Ocupação (hec)	1505,8	1525,7	1525,7	16,5		13,7	
Valor Energético (GJ)	270002,1	73279,3	7035,1	1727,7	744,4	424,3	
Valor Energético/Ano (GJ)	54000,4	8142,1	0	157,1	67,7	70,7	
Total (Tonelas secas/ano)	2465,8	442,5	0	12,8		3,8	2924,9
Total (GJ/ano)	54000,4	8142,1	0	224,7		70,7	62438

Tabela 19 – Resultados obtidos na avaliação da BFR potencial da área de estudo

Os valores de humidade para os resíduos de biomassa (com excepção dos matos) foram obtidos nas seguintes fontes bibliográficas: Lousada *et al* , 2010; Mateus, 2008; e Martin *et al*, 1989. Os valores de humidade apresentados, variam consoante a origem do resíduo, por exemplo a humidade da casca de eucalipto tem um valor diferente da humidade dos topos e ramos para a mesma espécie arbórea.

* Os valores do poder calorífico superior para as diferentes espécies arbóreas e arbustivas (com excepção da esteva) foram obtidos em: Lousada *et al* , 2010; Martin *et al*, 1989. Os valores consultados variam consoante a componente da árvore, por exemplo o poder calorífico dos resíduos provenientes de sobreiros mortos, resulta da média ponderada das diferentes componentes da árvore (tronco, ramos, folhas, etc.), e difere do valor de PCS apresentado para os resíduos provenientes das podas dos sobreiros.

A avaliação do potencial de biomassa da região do Algarve levada a cabo pela AREAL e o INETI (2006), concluiu que a quantidade anual de resíduos provenientes de sobreiro é de 1350kg (verdes)/hectare; de 875kg/hectare para os eucaliptos; e de 1060kg/hectare para os povoamentos de pinheiros.

Os valores anuais obtidos (kg de resíduos verdes / hectare) no âmbito deste trabalho foram: 685kg/hectare, 1714kg/hectare e 655kg/hectare, respectivamente.

Segundo as conclusões publicadas pelo Fórum de Energias Renováveis em 2001, as quantidades de resíduos potenciais a serem explorados provenientes de matos em áreas de incultos é de 4000Kg de resíduos verdes por hectare. O resultado obtido neste trabalho foi de 3248Kg por hectare.

Pode se concluir que existem diferenças significativas entre os resultados obtidos no âmbito deste trabalho e os resultados provenientes do estudo levado a cabo pela AREAL e o INETI. No caso dos sobreiros essa diferença pode ser explicável pelo facto de neste trabalho não ter sido considerados os resíduos provenientes de árvores mortas e o tempo de espaçamento entre podas considerado foi de 9 anos, ao passo que na avaliação do potencial energético de biomassa para o Algarve, os resíduos provenientes de árvores mortas foram levados em conta e o tempo de espaçamento entre podas considerado foi de 5 anos.

Nos povoamentos de Eucalipto houve diferença no tipo de resíduos considerados passíveis de serem explorados. Este trabalho contabilizou os resíduos provenientes dos

topos e ramos aquando do abate final das árvores, no outro caso foram apenas contabilizados os resíduos resultantes da selecção de varas.

Os povoamentos de pinheiros foram os que registaram menores diferenças entre resultados obtidos, contudo neste trabalho os povoamentos estudados foram exclusivamente povoamentos de pinheiro manso, no estudo levado a cabo pela AREAL e o INETI foram contabilizados resíduos provenientes tanto de povoamentos de pinheiro manso como bravo. O tipo de gestão florestal diferencia significativamente entre estas duas espécies e por consequência os resíduos passíveis de se obter também.

Por último nos matos foi onde se registou a diferença menos significativa, no entanto os resultados mencionados foram estimados no âmbito de outro estudo que não o da Avaliação do Potencial Energético de Biomassa da Região do Algarve.

Concluindo, as principais diferenças detectadas nos resultados obtidos, prende-se com a escala dos estudos efectuados. Este trabalho foi feito a uma escala bastante pequena quando comparado com os outros, para além disso teve muito em consideração o tipo de gestão florestal levado a cabo pelos proprietários locais. Outros estudos são realizados a uma escala muito maior, onde englobam áreas com relativa heterogeneidade de potencial produtivo de material lenhoso.

6.2 ANÁLISE DA DISPONIBILIDADE DE BIOMASSA FLORESTAL RESIDUAL

6.2.1 Áreas de explorabilidade

Para cada um dos tipos de ocupação florestal, calculou-se a disponibilidade de biomassa florestal distribuída pelas classes de explorabilidade definidas e o respectivo potencial energético, que seguidamente se apresenta.

Os valores apresentados nas tabelas abaixo indicadas, não têm ainda em conta a quebra de 10% na taxa de recolha dos resíduos, devido à queda de materiais finos.

A BFR proveniente de árvores mortas no montado de sobro, não é contabilizada na análise da disponibilidade da BFR.

Fazendo uma primeira análise à tabela 20, verifica-se que os povoamentos de pinheiros apresentam uma maior disponibilidade de biomassa passível de ser explorada sem

restrições, atendendo à área ocupada. Ou seja a quantidade de BFR passível de ser explorada no pinhal, representa uma maior percentagem face ao total de resíduos disponíveis, quando comparado com as outras espécies.

Os sobreiros apresentam a segunda percentagem mais elevada de quantidade de BFR passível de ser explorada, seguido pelos matos. O Eucalipto é a espécie que apresenta menor percentagem de quantidade de BFR disponível para aproveitamento, tendo em conta as classes de explorabilidade.

O declive é o principal factor nestas diferenças de explorabilidade entre as diversas espécies. A zona de Pinhal apresenta na maior parte da sua extensão declives relativamente suaves e encontra-se próximo de redes viárias tipo 1.

As zonas de eucaliptos por sua vez, encontram-se em declives muito mais acentuados e simultaneamente apresentam uma rede viária menos favorável.

Pode-se concluir portanto que as limitações físicas do terreno representam a principal causa das diferenças na disponibilidade de BFR, existentes entre as espécies consideradas.

Tipo de Ocupação Florestal	Biomassa (t em base seca/ano)	
	Explorável (classe 1 e 2)	Não explorável (classe 3)
Sobreiros	191,6	250,9
Pinheiros	2,2	1,6
Eucaliptos	4,3	8,4
Matos	1015,9	1449,9
Biomassa Total (t)	1214,1	1710,8

Tabela 20 – Quantidade de BFR por tipo de ocupação florestal

Analisando a área total de ocupação florestal, objecto de estudo, verifica-se que uma grande área encontra-se na classe de explorabilidade reduzida (não explorável) (tabela 21 e figura 29). Tal situação relaciona-se com o facto de 61% da superfície total da área de estudo apresentar uma orografia acidentada.

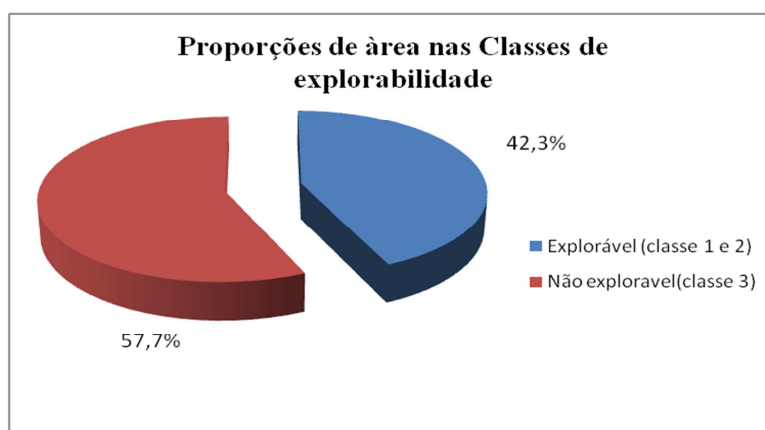


Figura 29 – Disponibilidade de área (explorável/não explorável) na ZIF Arade – Alte São Bartolomeu de Messines

Tipo de Ocupação Florestal	Área (hectares)	
	Explorável (classe 1 e 2)	Não explorável (classe 3)
Sobreiros	660,8	865,0
Pinheiros	8,0	5,7
Eucaliptos	5,6	10,9
Matos	620,4	885,4

Tabela 21 – Área por tipo de ocupação florestal

Em síntese, no que respeita à quantidade de energia disponível aquando da exploração de resíduos de biomassa, o valor obtido foi de 62438 GJ/Ano, do qual, cerca de 42% (25885,6 GJ/ano) (Tabela 22) pode ser explorado, sem restrições ou então com pequenas restrições (classe 1 e 2), enquanto aproximadamente 58% (36552,3 GJ /ano) encontra-se em áreas de explorabilidade reduzida com fortes restrições.

Tipo de Ocupação Florestal	Potencial Energético (GJ/ano)	
	Explorável (classe 1 e 2)	Não explorável (classe 3)
Sobreiros	3520,1	4622,0
Pinheiros	41,2	29,5
Eucaliptos	76,4	148,3
Matos	22247,9	31752,5
Total Valor energético (GJ/ano)	25885,6	36552,3

Tabela 22 – Valor energético da BFR por tipo de ocupação florestal e por classe de explorabilidade

Relativamente ao valor energético anual resultante dos resíduos passíveis de serem explorados, verifica-se (figura 30) que os resíduos provenientes dos matos são aqueles que dão um contributo maior para o total do valor energético anual disponível.

É importante salientar, que a área considerada com ocupação de sub-coberto representa uma percentagem bastante significativa da área total em estudo, mas ainda assim inferior em relação à área ocupada por sobreiros.

Tal como referido anteriormente, os resíduos provenientes de matos também não são os que apresentam uma taxa de explorabilidade maior relativamente ao potencial disponível.

Contudo a ZIF de Arade – Alte São Bartolomeu de Messines, apresenta uma elevada potencialidade para desenvolvimento de material lenhoso proveniente do sub-coberto. O intervalo de tempo para extrapolação da quantidade de biomassa disponível apresenta o valor mais reduzido no caso dos matos (5 anos), isto significa que é preciso menos tempo na geração de novos resíduos provenientes de matos. E ainda o poder calorífico é mais elevado nos resíduos provenientes do sub-coberto quando comparado com as outras espécies tidas em consideração.

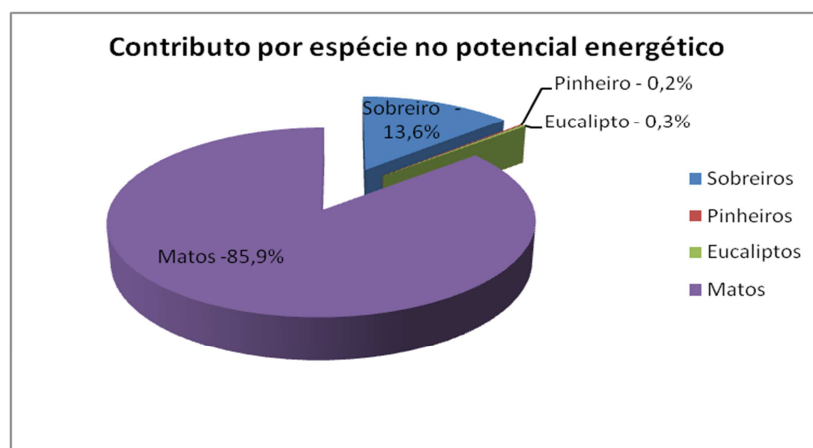


Figura 30 – Disponibilidade de energia anual por espécie na ZIF Arade – Alte São Bartolomeu de Messines

6.2.2 Custos de operações de exploração de biomassa florestal residual

O custo do transporte primário foi estimado em 7,24€/t (tabela 23).

O custo de trituração de BFR é o resultado da soma do custo de alimentação e do custo de trituração propriamente dito, sendo o custo igual a 8,05€/t.

		Custo (€/t)	Conservador	
Transporte primário	Camião	5,58	33%	
		7,87		
		4,39		
		4,04		
	Forwarder	5,06		
		4,89		
		5,22		
		4,64		
	Tractor agrícola	6,63		66%
		8,53		
		7,69		
Custo médio ponderado (€/t)		7,24		
Trituração	Alimentação	1,49	1,52	
		1,51		
		1,54		
	Trituração	6,5	6,53	
		7		
		6,1		
Custo médio trituração (€/t)		8,05		
Custo médio total (real) (€/t)		15,29		
Custo médio +20% (€/t)		18,35		

Tabela 23 – Custos de transporte primário e trituração (€/t) (Fonte: CBE, 2004)

A percentagem média de biomassa florestal residual que ficou nas diferentes parcelas após colheita, no âmbito do estudo levado a cabo pelo CBE (2004), para a contabilização dos custos das operações ligadas à exploração de BFR, foi de aproximadamente 74%. No âmbito deste trabalho a percentagem de biomassa a ficar no terreno tendo em conta o total da área de estudo é de aproximadamente 60%.

Tais factos são importantes de serem comparados, pois os custos de operações de exploração de BFR estão directamente relacionados com a percentagem de biomassa extraída por área.

No âmbito deste trabalho considerou-se uma percentagem de resíduos a ficarem no terreno menor, logo os custos ligados à exploração de BFR podem estar sobrevalorizados.

A soma do custo de transporte primário e do custo de trituração é o custo total antes do transporte secundário. Os valores que estiverem na base dos cálculos referem-se aos custos reais suportados pelos empreiteiros florestais. No contexto deste trabalho

interessa o preço de mercado da BFR, pelo que ao custo real foi acrescentada uma margem de 20%, como já referido na metodologia.

As observações recolhidas por Netto (2008), dos inquéritos realizados às transportadoras serviram para estimar a função de custo de transporte secundário (equação 23).

$$\text{Custo de transporte secundário } (\text{€} \cdot \text{t}^{-1}) = 3,368 + 0,07632 * \text{Distância (Km)}$$

(Equação 23)

A distância na equação anterior refere-se à distância entre o carregadouro e a unidade consumidora.

Para um cenário em que o transporte secundário é de 26 km, a estrutura de custo de BFR é a seguinte: a operação de trituração é a que têm maior peso com 41% do total do custo, em tonelada por quilómetro transportado (figura 31). O custo de transporte secundário representa 37 % e o custo de transporte secundário 22%, embora este valor varie em função da distância. Importa também referir que o transporte primário não tem em conta diferentes distâncias de transporte.

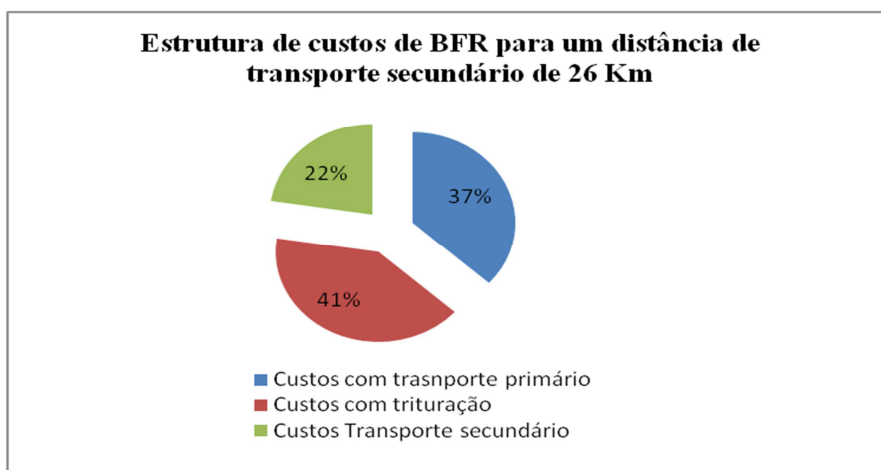


Figura 31 – Distribuição de custos nas diferentes operações de exploração de BFR para uma distância de transporte secundário de 26 km.

Por último resta abordar os custos considerados nas operações acrescentadas aquando na exploração de resíduos provenientes de matos (corte e ajuntamento).

Segundo as tabelas da CAO (2008/2009) a limpeza de matos com motorroçadora em terrenos com declives acentuados e uma densidade de vegetação arbustiva elevada custa 1078,44€/hectare, e o custos de ajuntamento é de 100,34€/hectare,

Importa aqui saber o custo de cada tonelada, para tal é necessário: conhecer a produção de BFR proveniente dos matos por hectare (considerou-se uma humidade de 35% para os resíduos); e ter em conta as percas de resíduos finos (10%). Tendo em conta todos estes pressupostos, será possível conhecer o valor real das quantidades de BFR extraídas e posteriormente auferir o valor do custo das operações de corte e ajuntamento (€/t).

Espécie	Quantidade BFR passível de ser explorada com 35% humidade (t/ha)	Quantidade BFR passível de ser explorada com 35% humidade e considerando 10% de percas de resíduos finos (t/ha)
Matos	13,9	12,5
Eucalipto	15,1	13,6
Pinheiro	3,1	2,8
Sobreiro	4,8	4,3

Tabela 24 – Disponibilidade Final de BFR passível de ser explorada

Os valores mencionados na tabela 24, têm em consideração a BFR disponível ao fim dos intervalos de tempo para extrapolação de cada espécie, por exemplo no caso dos matos o valor de 13,9 (t/hectare) corresponde à quantidade disponível de resíduos a cada 5 anos. Portanto não se trata de valores anuais, dado que o interesse para o cálculo dos custos reside em saber a quantidade disponível no ano do corte.

No cálculo dos custos interessa igualmente ter em consideração o valor da humidade dos resíduos provenientes de biomassa quando estes são comercializados.

Dado que o valor oferecido pelo consumidor (28€/t) assenta no pressuposto que a BFR têm 35% de humidade, achou-se conveniente abordar os custos com a mesma percentagem de humidade.

Concluindo, os custos com o corte de matos é de aproximadamente 86,3 (€/t), e o custo de ajuntamento é de 8 (€/t). A estes valores resta acrescentar o restante montante

relativo ao transporte primário, trituração e transporte secundário (tabela 23). A soma de tudo corresponderá ao valor total intrínseco à exploração de resíduos provenientes do sub-coberto.

6.2.3 Determinação dos raios de abastecimento

Utilizando as equações de custo em função da distância percorrida e um preço BFR igual a 28 €/t, foi possível estimar o raio de abastecimento máximo em cerca de 82km. A equação representada na figura 32 é o resultado da soma de todos os custos inerentes à exploração de BFR (custos de transporte primário, secundário e de trituração) em função da distância percorrida.

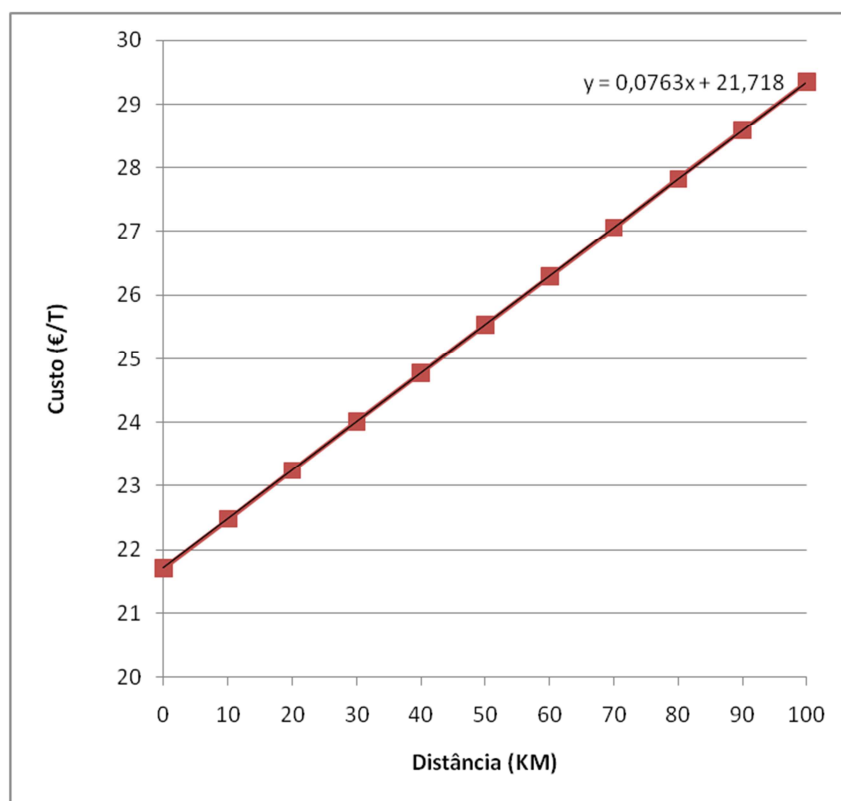


Figura 32 – Custo total da BFR (€/t) em função da distância de transporte secundário (km), com a respectiva equação para a função de custo em função da distância a percorrer.

Portanto para que o custo total da BFR não exceda o preço oferecido pelo consumidor, a distância a percorrer (transporte secundário) desde o carregadouro (na ZIF de Arade

/Alte São Bartolomeu de Messines) até ao local de consumo não pode ultrapassar os 82 km.

Através do SIG, calculou-se o valor médio a percorrer com a BFR passível a ser explorada da área de estudo até ao Pavilhão das Piscinas Municipais de Silves, em cerca de 26 km, desde já se pode assumir que o local de consumo para o cenário previsto se encontra dentro do raio de abastecimento máximo previsto.

Neste ponto ainda não são englobados os custos inerentes ao corte e ajuntamento de matos, e o preço de 28€/t oferecido pelo consumidor têm em consideração que a BFR se destina à produção de energia eléctrica.

6.2.4 Determinação do rendimento líquido do produtor

As regressões lineares ajustadas permitem obter uma função de custo da BFR cuja variável dependente é a distância ao local de consumo.

Utilizando como pressuposto um preço de BFR de 28 €/t, tendo em conta os custos estimados no ponto 6.2.2.2, foi possível através das equações 17 - 20 estimar o rendimento líquido médio do produtor em cerca de 4,30 €/t (tabela 25). Estes valores correspondem a 0,35€/GJ, tendo em consideração os respectivos PCI's para as diferentes espécies com 35% humidade (equação 7), e estão dentro do intervalo encontrado na bibliografia (0,14-0,85€/GJ) (Bradley, 2007; VTT, 2007).

No cálculo dos rendimentos líquidos a distância assumida de transporte secundário foi de 26 km para o cenário onde o local de consumo da BFR é as piscinas de Silves. A variação da distância a percorrer no transporte secundário vai implicar uma variação do rendimento líquido do produtor. Tal como visto no ponto 6.2.2.2, para uma distância de 82km, as receitas totais serão iguais aos custos totais e o rendimento líquido será zero. Para distâncias superiores a 82km, o proprietário terá custos superiores às receitas e portanto terá prejuízo. Se a distância do transporte secundário tender para zero o rendimento líquido do produtor irá aumentar até um valor máximo de aproximadamente 9,6 €/t.

Receita Total (€)	Custo Total (€)	Lucro Total (€)	Rendimento líquido (€/t)	Rendimento líquido (€/GJ)
52491,6	44434,7	8056,9	4,30	0,35

Tabela 25 - Rendimento líquido médio do produtor para uma distância de 26km de transporte secundário

Os resultados acima descritos ainda não têm em consideração os custos relativos ao corte e ajuntamentos dos resíduos provenientes do sub-coberto.

6.2.5 Construção de Cenários que Visem o Aproveitamento da BFR e Análise da sua Potencial Vantagem Económica e Ambiental.

6.2.5.1 Situação Actual das Piscinas de Silves

As instalações do pavilhão das piscinas municipais de Silves estão direccionadas para o lazer, saúde, e bem-estar dos cidadãos. O complexo desportivo é composto por: uma piscina desportiva com 25m x 16,6m de dimensão, 2m de profundidade, a área do plano de água é de $415m^2$ e possui de volume total $900m^3$; uma piscina de aprendizagem com 16,6m x 8m, 0,8 a 1,2m de profundidade, a área do plano de água é de $132,8m^2$ e possui de volume total $155m^3$; e por último por uma piscina de chapinheiro com 8m x 8m, com 0,5m de profundidade, com capacidade de $46m^3$ de água e com área do plano de água de $64m^2$.

O aquecimento da água das piscinas, da água dos banhos e do ar ambiente é efectuado através de duas caldeiras, as características técnicas destas são apresentadas na tabela 26.

Características		
Potência Unitária		581 KW
Potência de saída por escalão	Mínima	145 KW
	Máxima	390 KW
Temperatura de Regime		80 °c
Combustível		Gás Propano
Marca		Lamborghini
Modelo		Mega prex 460
Custos de manutenção anual		1.500 €

Tabela 26 – Características da caldeira das piscinas de Silves

Os dados recolhidos junto do responsável de manutenção das piscinas de Silves permitem traçar um perfil no consumo do gás propano e conseqüentemente da energia consumida inerente ao funcionamento das caldeiras.

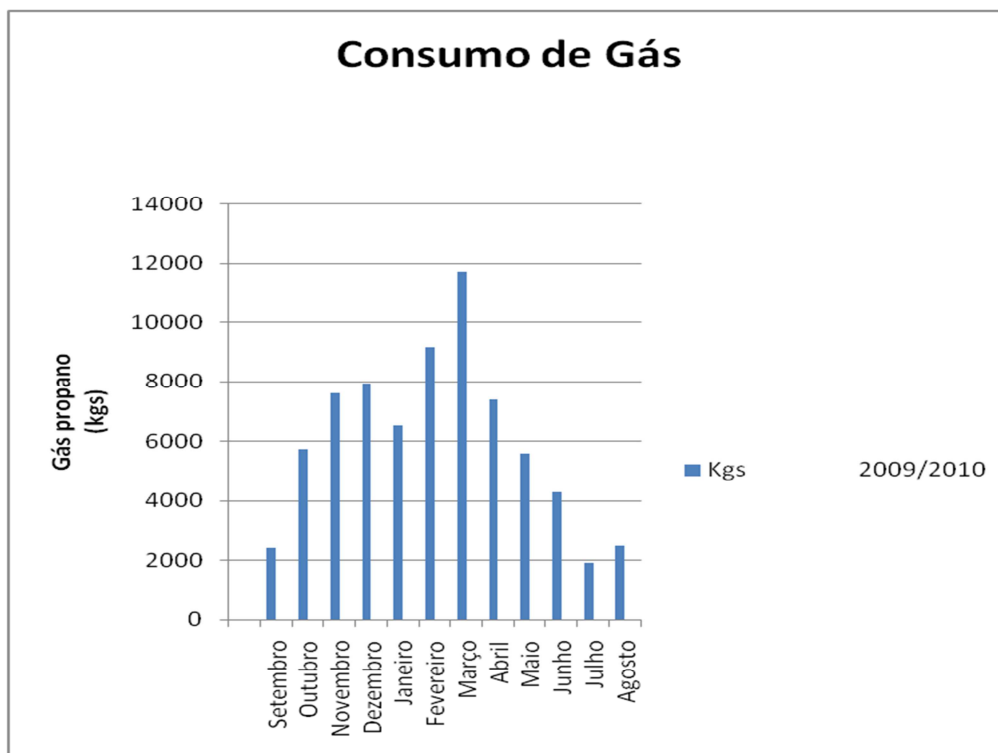


Figura 33 – Consumo de Gás Propano (kg) na época 2009/2010

O consumo de gás propano diminui nos meses de Verão, por não ser necessário um aquecimento tão acentuado como nos meses de Inverno devido ao gradiente de temperaturas ser superior e as perdas de calor serem menores.

De seguida apresentam-se os consumos de gás natural das últimas duas épocas de forma a se traçar um perfil de consumo.

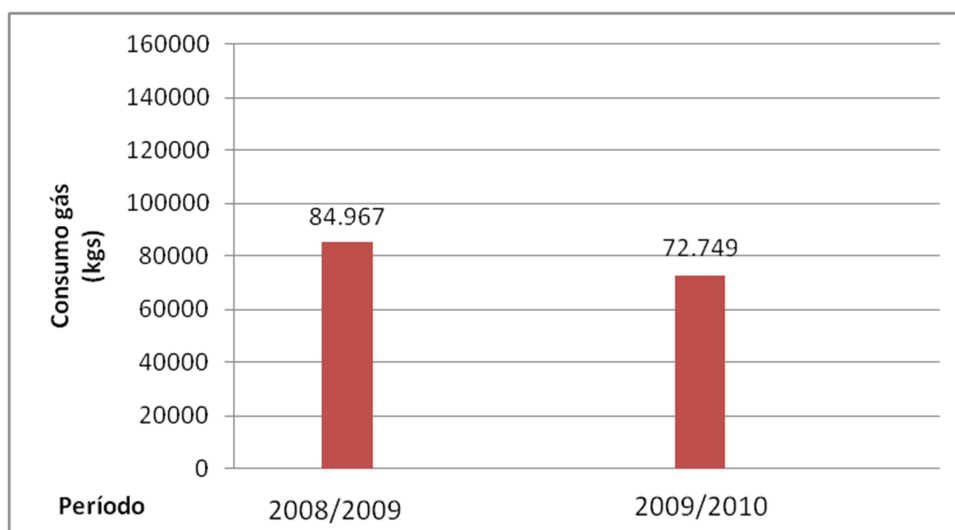


Figura 34 – Consumo de gás propano na caldeira no período (2008/2009 e 2009/2010)

O consumo de gás propano tem sido variável com oscilações acentuadas nos dois períodos apresentados. Devido à impossibilidade de obter mais dados referentes a outros períodos, optou-se por usar valores médios de consumo tendo em conta os dados disponibilizados, para atenuar a diferença de consumos entre períodos.

A energia necessária produzida pelas caldeiras a gás propano foi de 3938,22 GJ no período (Setembro a Agosto) de 2008/2009 e de 3371,92 GJ no período de 2009/2010, o que dá uma média anual de 3655,07GJ. Este valor médio já tem em conta as percas de 20% no aproveitamento de energia térmica.

O Cálculo das emissões de CO_2 em resultado da combustão do gás propano foi estimado em 229,48 toneladas por ano (equação 21). Trata-se de um valor médio tendo em conta os dois períodos considerados.

6.2.5.2 Cenário 1

A substituição da caldeira a gás actualmente existente requer um investimento por parte da autarquia para a colocação de uma caldeira a biomassa com as mesmas características em termos de potência térmica. Neste cenário o combustível a utilizar é a estilha proveniente dos resíduos dos povoamentos florestais, em que os custos inerentes à exploração destes resíduos resumem-se aos custos de transporte primário, trituração e transporte secundário.

O valor final de investimento com o qual se irá fazer a comparação entre os dois sistemas em causa é de 252.096,13€, e corresponde à soma do valor total de aquisição e instalação das caldeiras e outros componentes necessários ao funcionamento do sistema de produção de energia térmica a biomassa. A tabela 13 acima mencionada especifica os gastos de investimento necessário a ser feito.

A tabela 27 apresenta a comparação dos custos do uso do gás propano com os custos da estilha em caldeiras semelhantes e para as mesmas necessidades energéticas e rendimento de 80% para ambas. A informação apresentada foi obtida com base no consumo de gás propano nos dois períodos já referidos, e o poder calorífico inferior da estilha resulta de uma média ponderada dos valores de PCI para as diferentes espécies.

Mês	Energia Consumida/necessária EC (MJ)	Consumo de gás propano (kg)	Consumo de Estilha CE (kg)	Custo gás propano (€)	Custo Estilha (€)
Setembro	135063,9	2914,0	11153,1	4222	384
Outubro	269525,3	5815,0	22256,4	8426	767
Novembro	395365,5	8530,0	32647,9	12360	1124
Dezembro	468853,4	10115,5	38716,2	14657	1333
Janeiro	408575,3	8815,0	33738,7	12773	1162
Fevereiro	377520,8	8145,0	31174,3	11802	1074
Março	515273,0	11117,0	42549,4	16109	1465
Abril	410545,1	8857,5	33901,3	12835	1168
Mai	249988,7	5393,5	20643,2	7815	711
Junho	222874,0	4808,5	18404,1	6968	634
Julho	96245,8	2076,5	7947,6	3009	274
Agosto	105237,7	2270,5	8690,1	3290	299
Total	3655068,3	78858,0	301822,3	114265,2	10394,8

Tabela 27 – Consumo gás vs consumo de estilha (cenário1)

$$EC = [Cgp(kg) * PCI (gás propano) \left(\frac{MJ}{kg}\right)]$$

(Equação.24)

$$CE(kg) = \frac{EC(MJ)}{PCI(estilha)\left(\frac{MJ}{kg}\right)}$$

(Equação.25)

Os valores acima apresentados na tabela 27, como dito anteriormente são valores médios dos dados facultados e têm em conta o rendimento térmico em ambas as caldeiras de 80%.

O preço da estilha considerado é de 28€ a tonelada+ IVA (23%), neste está incluído o rendimento líquido de produtor de aproximadamente 4,30€/t, caso a distância assumida de transporte secundário for de 26km.

Os 28€/t, como já referido é o preço praticado na comercialização de BFR para produção de electricidade na central de Mortágua, assumiu-se neste caso que o imposto de valor acrescentado é suportado pelo consumidor final (autarquia de Silves).

Verifica-se que o uso de uma caldeira a estilha é mais vantajoso que o recurso ao gás propano e que mesmo nos meses de menor consumo essa diferença continua a ser competitiva (figura 35).

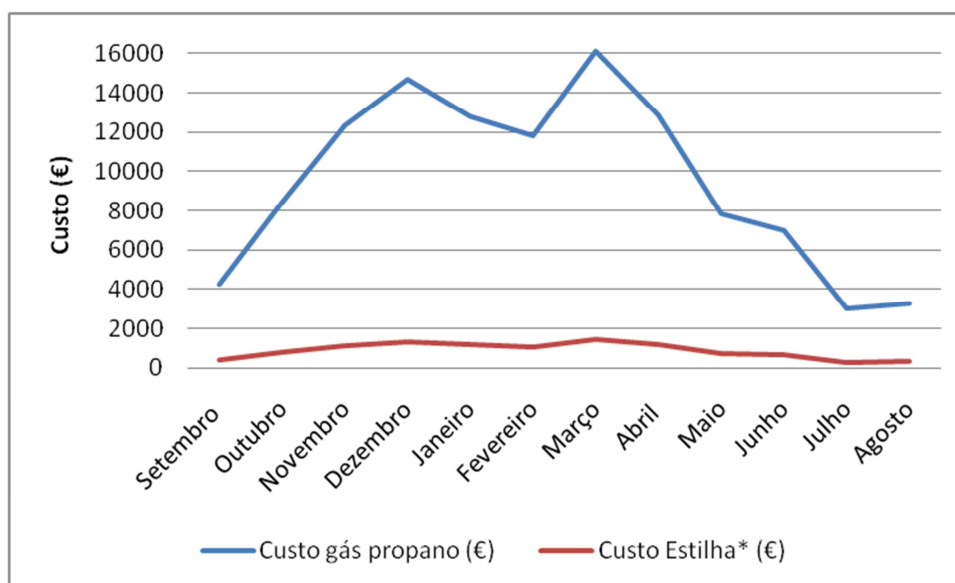


Figura 35 – Comparação uso de estilha vs gás propano (cenário1)

O benefício da substituição da caldeira com combustível a gás propano para uma caldeira com combustível a estilha ultrapassa os 97000€ /ano (equação 22 na pág. 115).

Para calcular o período de retorno deste investimento considerou-se os preços de gás propano, o preço da estilha, e os preços de manutenção de ambos os sistemas de produção de energia térmica.

ANO	Custo da caldeira a biomassa (€)(Ccb)	Custo do gás propano (€) (Cgp)	Custo manutenção anual da caldeira a gás (€) (Cmcg)	Custo da Estilha (€) (Ce)	Custo manutenção anual da caldeira a biomassa (€) (Cmcb)	Benefício anual (€) (Ba)	Período Retorno
1	252096,1	114265,2	1500,0	10394,8	7715,4	97655,1	2,6
2		114265,2	1500,0	10394,8	7715,4	97655,1	
3		114265,2	1500,0	10394,8	7715,4	97655,1	
4		114265,2	1500,0	10394,8	7715,4	97655,1	
5		114265,2	1500,0	10394,8	7715,4	97655,1	
6		114265,2	1500,0	10394,8	7715,4	97655,1	

A tabela 28- Período de retorno (cenário1)

O período de retorno do investimento da caldeira a biomassa verifica-se após aproximadamente 2,6 anos.

Na instalação de uma caldeira deste tipo apesar de se verificar um benefício ao nível financeiro é igualmente importante analisar as diferenças no campo das emissões de CO_2 .

No âmbito deste trabalho apenas é comparado as emissões libertas aquando da combustão. Para o caso da caldeira a gás propano a emissão de CO_2 foi estimado em 229,48 toneladas por ano, como já referido, ao passo que as emissões associadas à combustão de biomassa são consideradas nulas uma vez que o balanço de CO_2 absorvido pelas árvores que deram origem *versus* o CO_2 emitido pela combustão da biomassa é considerado nulo (CBE, 2002).

As emissões associadas ao processo de exploração e transporte tanto do gás propano, como dos resíduos de biomassa não são aqui contabilizadas. Contudo o valor do balanço final de CO_2 é sempre muito inferior aquando do uso de biomassa enquanto combustível face a outros combustíveis fósseis (Silva, 2009).

6.2.5.3 Cenário 2

Outra fonte de biomassa existente na ZIF em estudo é os resíduos provenientes do sub-coberto. Como já foi referido a limpeza de matos merece especial atenção na prevenção de incêndios.

Segundo o Decreto Lei nº 124/2006 de 28 Junho cada município a partir da data de aprovação do Plano Municipal de Defesa da Floresta Contra Incêndios fica obrigado a limpar faixas de combustível da rede viária florestal. De modo a prevenir os incêndios florestais, e de forma a facilitar a circulação de veículos de combate ao fogo, estes caminhos deverão ser sujeitos a uma limpeza de 10 metros para cada lado. No PMDFCI esta limpeza está prevista a cada cinco anos.

A ZIF em estudo possui 222,397 hectares de área delimitada a faixas de gestão de combustível (CM Silves, CM Loulé), onde a limpeza de matos é obrigatória. Contudo como já foi referido anteriormente a área total na ZIF passível de exploração ao nível do sub-coberto para obtenção de resíduos é de aproximadamente 620 hectares.

O sub-coberto representa assim, um potencial significativo para exploração energética.

Contudo no âmbito deste trabalho e como já mencionado, optou-se por acrescentar aos custos inerentes à exploração de matos mais duas operações, nomeadamente o corte e ajuntamento dos matos.

A tabela 29 apresenta a comparação dos custos do uso do gás propano com os custos da estilha em caldeiras semelhantes e para as mesmas necessidades energéticas e rendimento de 80% para ambas.

Mês	Energia Consumida/necessária EC (MJ)	Consumo de gás propano (kg)	Consumo de estilha CE (kg)	Custo gás propano (€)	Custo estilha (€)
Setembro	135063,9	2914,0	11153,09	4222	1435,849
Outubro	269525,3	5815,0	22256,42	8426	2865,292
Novembro	395365,5	8530,0	32647,85	12360	4203,085
Dezembro	468853,4	10115,5	38716,22	14657	4984,326
Janeiro	408575,3	8815,0	33738,67	12773	4343,516
Fevereiro	377520,8	8145,0	31174,3	11802	4013,379
Março	515273,0	11117,0	42549,38	16109	5477,807
Abril	410545,1	8857,5	33901,33	12835	4364,457
Maiο	249988,7	5393,5	20643,16	7815	2657,601
Junho	222874,0	4808,5	18404,13	6968	2369,347
Julho	96245,8	2076,5	7947,628	3009	1023,178
Agosto	105237,7	2270,5	8690,147	3290	1118,769
Total	3655068,3	78858,0	301822,3	114265,2	38856,6

Tabela 29 - Consumo gás vs Consumo de estilha (cenário 2)

A energia consumida e o consumo de estilha resultaram da aplicação das equações 24 e 25, acima mencionadas.

O preço da estilha considerado é de 28€ a tonelada+ IVA (23%), neste está incluído o rendimento líquido de produtor de aproximadamente 4,30€/t para uma distância de 26 km. Ao valor de 34,44 €, ainda foi acrescentado 863€ por tonelada referente ao custo de corte de matos, e 8€ por tonelada referente ao custo de ajuntamento. O valor total por tonelada considerado foi de 128,74€.

É interessante verificar que apesar do custo por tonelada ter sofrido um aumento significativo comparativamente com o cenário 1, ainda assim o uso de caldeira a estilha é mais vantajoso que o recurso a gás propano e mais uma vez mesmo nos meses de menor consumo essa diferença continua a ser competitiva.

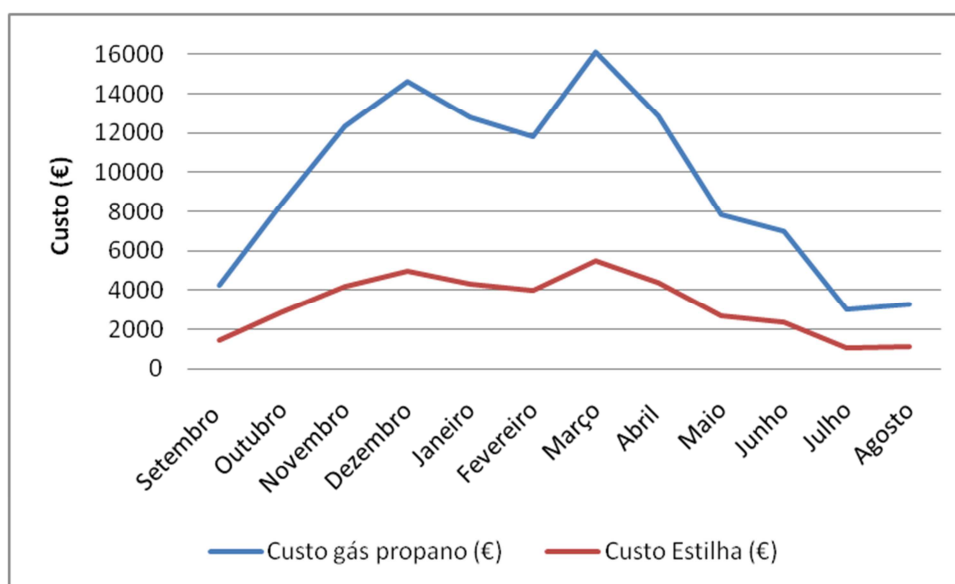


Figura 36 – Uso estilha vs Gás propano (cenário 2)

O benefício da substituição da caldeira com combustível a gás propano para uma caldeira com combustível a estilha para este cenário ultrapassa os 69000€/ano (equação 22 na pág.115).

Para calcular o período de retorno deste investimento considerou-se à semelhança do que foi feito para o cenário 1, o diferencial entre os preços de gás propano e os preços da estilha, com os preços de manutenção de ambos os sistemas de produção de energia térmica, tendo em conta o investimento inicial.

A tabela 30 apresenta os cálculos do período de retorno.

ANO	Custo da caldeira a biomassa (€)(Ccb)	Custo do gás propano (€) (Cgp)	Custo manutenção anual da caldeira a gás (€) (Cmcg)	Custo da Estilha (€) (Ce)	Custo manutenção anual da caldeira a biomassa (€) (Cmcb)	Benefício anual (€) (Ba)	Período Retorno
1	252096,1	114265,2	1500,0	38856,6	7715,4	69193,3	3,6
2		114265,2	1500,0	38856,6	7715,4	69193,3	
3		114265,2	1500,0	38856,6	7715,4	69193,3	
4		114265,2	1500,0	38856,6	7715,4	69193,3	
5		114265,2	1500,0	38856,6	7715,4	69193,3	
6		114265,2	1500,0	38856,6	7715,4	69193,3	

Tabela 30 – Período de retorno (cenário 2)

A metodologia no cálculo dos custos referidos na tabela 30 assentou nos mesmos pressupostos assumidos para o cenário 1.

O período de retorno do investimento da caldeira a biomassa para o cenário 2 verifica-se após 3,6 anos.

Ao nível das emissões de CO_2 , o cenário 2 continua a ser menos vantajoso, comparativamente com o cenário 1, porque estão inerentes mais duas operações, que por sua vez representam mais emissões de GEE. Ainda assim as emissões durante a combustão dos resíduos aqui considerados, são consideradas igualmente nulas o que representa uma vantagem quando comparado com o uso de gás propano.

A tabela 31 resume, os dados obtidos nas diferentes análises com base nos valores médios dos períodos considerados.

	Cenário Actual	Cenário 1	Cenário 2
Encargos financeiros associados à compra de combustível e manutenção das caldeiras (€/ano)	115765,2	18110,1	46572,0
Emissões associadas à queima do combustível na Caldeira (t/CO_2/ano)	229,48	0	0
Período de Retorno	-	2,6	3,6

Tabela 31- Resumo dos encargos financeiros e das emissões associadas aos diferentes

Atendendo ao facto de que uma caldeira a biomassa tem um período de vida que varia entre 12 a 15 anos, todas as hipóteses apresentadas que visam o aproveitamento de BFR, apresentam-se exequíveis do ponto de vista económico.

É importante salientar ainda, que no cenário 2 o custo previsto de comercialização de BFR é superior aos preços praticados na actualidade na comercialização de lenha para consumo doméstico. Depois do contacto directo com algumas empresas do ramo, pode-se constatar que o preço da lenha para lareiras varia entre os 100€ a 120€ a tonelada com custos de transporte englobados no preço. Significa este facto que a utilização de biomassa residual para energia pode competir com outros usos possíveis para este tipo de resíduos.

Mesmo nos piores dos cenários em que a BFR para energia é comercializada a mais de 128€ a tonelada, o período de retorno do investimento mostra-se relativamente curto (3,6anos), tendo em conta o período de vida útil das caldeiras a biomassa.

Actualmente a Comissão Europeia no âmbito do protocolo de Quioto fixou o preço da tonelada de CO_2 em 20€ (www.apambiente.pt). Atendendo a este valore caso a Câmara Municipal tenha que pagar as suas emissões de CO_2 , verifica-se que no caso dos cenários que visam o aproveitamento energético da BFR, haveria uma poupança de 4589,6€/ano. Desta forma os períodos de retorno em cada um dos cenários em que se propõe a instalação de uma caldeira a biomassa seriam diminuídos.

7. RESUMO DAS PRINCIPAIS LIMITAÇÕES

Tendo em consideração os objectivos propostos no início do trabalho, os resultados obtidos apresentam dois tipos de limitações: as limitações inerentes 1) à qualidade da informação utilizada e 2) aos pressupostos assumidos na metodologia.

No que respeita à qualidade da informação utilizada, as principais falhas podem advir das equações usadas para estimar biomassa florestal residual proveniente das espécies arbóreas e das cartas de ocupação florestal para o sub-coberto.

As equações de BFR usadas para estimar o potencial das espécies arbóreas da ZIF foram desenvolvidas com base em taxas de crescimento e condições edafo-climáticas possivelmente diferentes das encontradas na área de estudo.

Como não foi possível proceder ao corte e a pesagem de resíduos provenientes de espécies arbóreas, não se efectuaram testes aos modelos utilizados para verificar a relação existente entre a variável dependente (BFR) e as variáveis independentes (DAP; PAP; altura total), como tal não foi possível ajustar as equações usadas às características específicas do local e aos valores reais.

A qualidade das cartas de ocupação florestal pode ter favorecido um maior distanciamento da produção de BFR real na área de estudo.

O problema passa por se ter utilizado uma carta de ocupação florestal desactualizada. Desde então passaram alguns anos e a ocupação florestal poderá ser diferente, especialmente tendo em conta os incêndios nos anos 2003 e 2004 que ocorreram numa área significativa da ZIF (IN LOCO, 2010). Este facto, por si só, pode ter alterado significativamente a ocupação florestal. Este distanciamento pode ter-se evidenciado mais para o caso dos resíduos provenientes do sub-coberto, uma vez que as áreas ocupadas por matos são mais susceptíveis a mudanças de uso num menor intervalo de tempo, em relação à ocupação arbórea.

Contudo, foram feitas actualizações da carta de ocupação com recurso a imagens satélite mais actuais e visitas no terreno, o que atenuaram o problema. Ainda assim a melhoria da qualidade e a actualização da informação sobre a ocupação florestal permitirão aumentar significativamente a fiabilidade dos resultados.

Os pressupostos da metodologia seguida são os factores que mais desvios podem ter introduzido aos valores reais de produção de BFR.

O trabalho estimou a BFR de uma parte restrita da produção total real. É preciso ter em mente que neste trabalho não foi considerada a biomassa que provém de áreas ardidas, da remoção de cepos, desbastes, e de árvores mortas por pragas entre outras razões que não os incêndios. Os resultados obtidos neste trabalho podem estar subestimados, ainda, pelo facto de o diâmetro de corte da bicada poder ser superior a 7 cm ou à integração de árvores com a configuração do fuste inapropriada para a indústria na fracção de BFR. Por outro lado, no âmbito deste trabalho não foi diferenciado os diferentes tipos de podas a realizar nos montados de sobreiro. A quantidade de resíduos a obter resultante de podas de sobreiros foi assumida como sendo 30% do peso estimado da copa da árvore. Esta percentagem pode não corresponder à realidade em todas as situações, nomeadamente se se tratar de podas de formação, em que a quantidade de resíduos passíveis de se obter corresponde geralmente a um valor sempre inferior a 30% do peso total da copa.

Por último não foram tidos em consideração modelos de crescimento para as árvores jovens dos montados de sobreiro. Para o caso dos eucaliptos e dos pinheiros a não aplicação de nenhum modelo de crescimento não é tão problemático, uma vez que os dados recolhidos foram realizados em povoamentos maduros e num estado de desenvolvimento avançado. No caso dos sobreiros, foram detectadas áreas com povoamentos de idades bastante heterogéneas, o que significa que os valores estimados na quantificação de biomassa podem sofrer alterações com o tempo, dado que se irá verificar um crescimento das árvores mais jovens e posteriormente um aumento dos resíduos disponíveis.

Os dados sobre os custos das operações de recarga, trituração e transporte secundário, baseados num único trabalho, podem não representar adequadamente os custos praticados pelas empresas a trabalhar na área de estudo e as próprias condições podem introduzir custos relativamente distintos, ainda outro factor prende-se com a data da realização desses estudos já ter decorrido a algum tempo.

Por último relativamente aos custos, importa referir, que estes foram calculados para resíduos de origem de povoamentos de eucalipto e pinheiro. No âmbito deste trabalho os mesmos custos foram extrapolados para resíduos com diferentes origens,

nomeadamente sobreiros e matos. Diferentes espécies arbóreas e arbustivas possuem um potencial de produção de resíduos diferentes, o que implica diferenças de custos na exploração de resíduos. Neste aspecto, poderia ter sido feita uma recolha de informação sobre os custos entre as empresas locais.

Existem outros factores de mercado, que afectam a produção total de BFR. As atitudes dos proprietários em relação ao mercado da biomassa podem variar muito, desde os que retiram toda a biomassa até aos que preferem não fazer a exploração. O número de consumidores pode, por seu lado, influenciar a quantidade de BFR disponível. Numa situação de monopólio em que um consumidor estabelece um preço para a BFR, os custos totais de exploração podem não favorecer o aproveitamento em certos casos. No entanto, à medida que mais consumidores entram no mercado e tendem, por vezes, a instalarem-se em locais onde a exploração de BFR é mínima, haverá mais concorrência pela mesma matéria-prima, e o preço e a disponibilidade aumentarão. Neste caso há que ter em conta as limitações físicas do relevo.

Um dos pressupostos que se assumiu considerava um intervalo de tempo para a exploração dos resíduos sempre constante: 11, 9, 6 e 5 anos para as espécies de eucalipto, sobreiro, pinheiro, e matos respectivamente. Este pressuposto ignora a variabilidade intra-anual que é natural existir na produção de biomassa. Aqui reside uma das maiores necessidades para melhorar este tipo de estudos. Para que os estudos de produção e disponibilidade de biomassa sejam mais precisos, torna-se necessário, introduzir modelos climáticos na previsão da disponibilidade de biomassa residual. Desse modo é possível estimar, com maior certeza as produções anuais.

Em relação aos cenários montados, é necessário referir que no âmbito deste trabalho, não se realizou um estudo exaustivo do dimensionamento e avaliação de custos envolvidos na substituição da caldeira a gás para uma caldeira biomassa. Como tal os valores apresentados, podem diferir com algum significado da realidade. Seria necessário um projecto, que englobasse todas as especificações do local para auferir os verdadeiros valores na mudança de tecnologia térmica.

Referente à análise económica dos cenários aqui descritos, resta ainda dizer que não se teve em consideração os gastos energéticos (electricidade) necessários ao funcionamento do sistema de alimentação de estilha para caldeira a biomassa e do sistema adicional de enchimento de silo ou contentor para biomassa, nem os custos de

fertilização ou reutilização de cinzas como medidas compensatórias da exploração de resíduos.

O benefício da redução de emissões de CO_2 , as ajudas de custo de: aquisição de materiais, máquinas, limpezas de matos e podas de árvores não foram consideradas. Dado que estes tipos de auxílio podem ser significativos principalmente nas áreas pertencentes às ZIF's , são factores importantes para a viabilidade do investimento.

8. CONCLUSÕES

O mercado de biomassa é um mercado com um potencial crescente, e espera-se que esse crescimento se acentue nos próximos anos com o aumento de potência instalada em centrais dedicadas a biomassa, e o aumento de soluções para aquecimento térmico individual e comunitário com combustível a biomassa.

O potencial produtivo do país relacionado com a diversidade dos sistemas florestais existentes conduz a uma disponibilidade de recursos que devem merecer um adequado aproveitamento, num contexto socioeconómico e ambiental.

Atendendo a estes factores pretendeu-se no âmbito deste trabalho avaliar o potencial energético dos resíduos florestais na ZIF Arade/Alte – São Bartolomeu de Messines.

O potencial energético foi estimado em 25885,6 GJ/ano, tendo em conta as limitações económicas, físicas (declive e distância a rede viária) e ambientais com a consideração de perdas de 10% do peso sobre a quantidade total disponível, de resíduos finos importantes para a regeneração de nutrientes no solo.

A informação sobre os custos das operações de exploração de biomassa permitiram estimar uma equação de custo marginal em função da distância. O raio de abastecimento máximo, tendo em conta o preço de mercado praticado no mercado de BFR para a produção de energia eléctrica é de 82km. O rendimento líquido médio do produtor foi estimado em 4,30€/t ou 0,35€/GJ assumindo a BFR com 35% humidade.

Após análise dos dados obtidos durante a realização deste trabalho foi conclusiva a ideia de que o aproveitamento da biomassa proveniente, quer das espécies arbóreas, quer do substrato arbustivo se apresenta como uma alternativa viável do ponto de vista energético, económico e ambiental.

Os cenários apresentados foram escolhidos de forma a se poder estudar isoladamente cada um dos casos onde o aproveitamento de biomassa residual é possível. Concluiu-se que qualquer das alternativas apresentadas é viável e favorável à opção actualmente utilizada, o recurso a gás propano.

O períodos de retorno estimados para o investimento inicial são relativamente curtos, o que prova que o uso de biomassa residual para produção de energia térmica é bastante interessante e mais vantajoso que o uso de biomassa para a produção de electricidade.

O preço pago pelo consumidor, o rendimento líquido do produtor e a distância máxima de transporte de biomassa, foram calculados com base no preço oferecido pelos resíduos que se destinam à produção de energia eléctrica. Ficou provado que esses valores poderiam ser dilatados, uma vez que a eficiência na produção de energia térmica é maior e o custo das tecnologias associadas ao aproveitamento de calor são menores quando comparados com as tecnologias de produção de energia eléctrica a partir biomassa.

Em suma, o aproveitamento de biomassa florestal como fonte de energia renovável, pode-se revelar numa oportunidade de valorização do mundo rural através da melhoria da gestão das explorações florestais, na criação de empreendimentos e de emprego, numa óptica de gestão florestal e também importante na redução de emissões de GEE. O grande potencial associado à utilização de resíduos de biomassa está na produção de energia térmica, para aquecimentos de edifícios, piscinas, entre outros. Este sector tem um enorme potencial de desenvolvimento e pode dar um contributo significativo no cumprimento das metas de produção de energia a partir de fontes de energia renováveis e de redução de GEE.

8.1 SUGESTÕES

Terminado este estudo verifica-se que existem vertentes que necessitam e devem ser aprofundadas. Um dos pontos a desenvolver em Portugal seria a criação de ferramentas de apoio à decisão para analisar cenários de extracção de biomassa florestal. Ferramentas essas que considerassem questões importantes tais como: o balanço de nutrientes, a disponibilidade de resíduos e de energia provenientes destes, os efeitos sobre a biodiversidade, o ciclo de carbono, os efeitos da colheita de BFR sobre pragas de insectos, entre outras eventuais questões importantes a considerar.

Tal metodologia exigiria a realização de experiências no terreno em períodos de tempo alongados. Só através da investigação será possível reunir um conjunto de

conhecimentos de vanguarda, e colmatar o défice da prática de exploração sustentável da biomassa florestal para energia.

Ao nível político é fundamental a integração da fileira biomassa no sector florestal. É ainda necessária a dinamização de incentivos que promovam a disponibilidade de biomassa, quer através de boas práticas de gestão florestal, quer pelo aumento das áreas florestadas, quer pela diversificação das espécies através da introdução de culturas energéticas florestais.

As autarquias poderiam apostar em ecopontos dedicados aos resíduos verdes, podendo este material ser valorizado na compostagem ou energeticamente, contudo, aconselha-se a secagem prévia destes resíduos devido ao considerável teor de humidade.

Entende-se que apesar das dificuldades verificadas ao longo deste percurso, os principais objectivos do trabalho foram cumpridos. Espera-se que se erga após este estudo uma consciencialização dos autarcas dos municípios e dos proprietários florestais, de que é possível o recurso a energias renováveis, nomeadamente a biomassa sem que seja economicamente prejudicial para ambas as partes.

Espera-se que após a realização de um projecto deste género sejam possíveis a realização de outros de cariz semelhante e que sirvam de exemplo para todos os envolventes.

9. BIBLIOGRAFIA

ADENE/INETI, 2001. Fórum Energias Renováveis em Portugal, “Relatório síntese.

Alves, A.A.M.,1988. Técnicas de Produção Florestal. 2ªEdição. INIC, 331 pp.

AREAL/INETI, 2006. Avaliação do Potencial de Biomassa da Região do Algarve. Projecto ENERSUR – Estudo 10.

AFREPREN/FWD, 2002. African Energy Data Handbook. Ocasional paper nº 13.

Associação Nacional da Indústria Papeleira: www.celpa.pt . Boletim Estatístico 2000.

Associação Nacional da Indústria Papeleira: www.celpa.pt . Boletim Estatístico 2008.

Autoridade Florestal Nacional (AFN), 2009.Instruções para o Trabalho de Campo do Inventário Florestal Nacional – IFN 2005/2006.Revisão em Janeiro de 2009 do Texto Elaborado em Outubro de 2005.

Autoridade Florestal Nacional (AFN),2010. Contribuição da Gestão Florestal para a Valorização da Biomassa Florestal. Revista – Vida Rural: Especial Floresta, Abril de 2010.

A.D. Little, Tecninvest, 1985. Resíduos Florestais para a Produção de Energia em Portugal, Direcção Geral de Energia, Lisboa, 298pp.

Adams, MB.;Burger, JÁ.;Jenkins, AB.;Zelazny, L.,2000. Impact of Harvesting and Atmospheric Pollution on Nutrient Depletion of Eastern US Hardwood Forest. *Forest Ecology and Management* 138:301-319.

Agência Regional da Energia e Ambiente da Região Autónoma da Madeira (AREAM), 2006. Levantamento do Potencial Energético da Biomassa Florestal Na Região da Autónoma da Madeira - Relatório síntese.

Andrade, V., 2007. Falata Biomassa para produzir Energia, *Jornal Expresso*, 28 Abril de 2008.

Barrientos, F., 2007. Co-Combustión de Biomassa en Caldeiras de Carbón, in *Comunicações da Conferência Expobioenergía 2007*, 24-26 de Outubro, Valladolid.

Bengtsson, J.; Persson, T.;Lundkvist, H.,1997. Long Term Effects of Logging Residue Addition and Removal on Macroarthropods and Enchytraeids. *Journal of Applied Ecology* 34:1014-1022.

Bockelmann, C.;Pohlandt, K.;Marutzky, R., 1995. Concentrations of Slected Elements in Assortments of Wood:Chlorine, Fluorine abd Heavy Metals. Holz als Roh und Werkstoff 53: 377-383.

Bradley, D.,2007. Canada – Sustainable Forest Biomassa Supply Chains, IEA Task 40, Climate Change Solutions, 31pp.

Carrasco, J. E., 2001, La biomasa como Recurso Renovable para la Producción de Claro y Electricidad, in Tecnologías Energéticas e Impacto Ambiental, 2001, Pedro Ybarra (editor), 335-356.

Cento de Biomassa para Energia (CBE), 1993. Estimativa de Disponibilidade de Biomassa Florestal Residual no País. Ed. Centro de Biomassa para Energia. Miranda do Corvo.

Cento de Biomassa para Energia (CBE), 2002. Aquecimento de Biomassa em grandes edifícios – Aspectos Técnicos Essenciais. Ed. Centro de Biomassa para Energia . Miranda do Corvo.

Centro da Biomassa para Energia (CBE), 2004. Optimização das Operações de Exploração Florestal, Recolha, Acondicionamento, Transporte e Transformação Primária da Biomassa Florestal Residual para a Produção de Energia, Centro da Biomassa para Energia, Miranda do Corvo, 128pp.

Centro de Biomassa para Energia (CBE), 2007 a. Supply Chains of Mortágua Generating Plant Using Forest Biomass Residual for Energy Production, Factsheet 24 – Portugal, Eubionet II, 10 pp.

Centro de Biomassa para Energia (CBE), 2007 b. Poder calorífico, ficheiro XLS, Centro de Biomassa para Energia, Miranda do Corvo.

Centro de Biomassa para Energia (CBE), 2011. Biocombustíveis Sólidos no Mercado de Calor – Contexto Nacional. Workshop – “Biocombustíveis sólidos – Produção, Qualidade e Utilização no Mercado de Calor.”

Comissão das Comunidades Europeias (CCE), 1997. Energy for the Future: Renewable Sources of Energy – White Paper for a Community Strategy and Action Plan. COM (97) 599 final.

Comissão das Comunidades Europeias (CCE), 2004. Decisão da Comissão C(2004) 130.Jornal Oficial da União Europeia L 51/1, 26 de Fevereiro.

Comissão das Comunidades Europeias (CCE), 2005 a, Biomass Action plan. COM 82005) 628.

Comissão das Comunidades Europeias (CCE), 2005 b. The Support of Electricity from Renewable Energy Sources. COM (2005) 627.

Comissão das Comunidades Europeias (CCE), 2006. Renewable Energy Road Map – Renewable Energies in the 21 st Century: Building a More Sustainable Future. COM (2006) 848 final.

Comissão das Comunidades Europeias (CCE), 2007. Na Energy Policy for Europe. COM (2007) 1 final.

Comissão Europeia (CE). 2006. Energy Technologies: Knowledge – Perception – Measures. Directorate-General for Research, Sustainable Energy Systems.

Comissão de Acompanhamento das Operações Florestais (CAOF), 2008/2009. Matrizes de (Re) Arborização.

Comissão de Acompanhamento das Operações Florestais (CAOF), 2008/2009. Matrizes de Beneficiação.

Chiaramonti, D. & Martelli F., 2007. Biomass Energy Conversion Technologies (thermal): Combustion – IMES. Tese de mestrado em bioenergia, Módulo 2.4. Faculdade de Ciências e Tecnologias – Universidade Nova de Lisboa. Lisboa.

Correia, A.V.; Oliveira, A.C.,1999. Principais espécies florestais com interesse para Portugal: Zonas de Influência Mediterrânica. Direcção-Geral das Florestas. Estudos e Informação 318:119pp.

Correia, A.V.; Oliveira, A.C.,2003. Principais espécies florestais com interesse para Portugal: Zonas de Influência atlântica. Direcção-Geral das Florestas. Estudos e Informação 322:187pp.

DD CEN/TS 14918, 2005. Solid Biofuels –Method for the Determination of Calorific Value.

DD CEN/TS 15104, 2005. Solid Biofuels – Determination of Total Content of Carbon, Hydrogen and Nitrogen - Instrumental Methods.

Dale, V.H., & English, M.R., 1999. Tools to aid environmental Decision Making. Springer, New York:342PP.

Dias, J., 2002. Utilização da Biomassa: Avaliação dos Resíduos e Utilização de Pellets em Caldeiras Doméstica. Tese Mestrado em Engenharia Mecânica - Instituto Superior Técnico de Lisboa. Lisboa.

Direcção Geral Geologia e Energia (DGGE), 2006a. Estatísticas de Energia, disponível em <http://www.dge.pt>.

Direcção Geral Geologia e Energia (DGGE), 2006b. Potência Instalada das Centrais de Produção de Energia Eléctrica a partir de Fontes Renováveis, disponível em <http://www.dge.pt>.

Direcção Geral Geologia e Energia (DGGE), 2006c. As Energias Renováveis no Balanço Energético disponível em <http://www.dge.pt>.

Direcção Geral Geologia e Energia (DGGE), 2006d. Estratégia Nacional para Energia disponível em <http://www.dge.pt>.

Direcção Geral de Recursos Florestais (DGRF), 1995-1998. Povoamentos Florestais, 3º revisão Inventário Florestal Nacional.

Direcção Geral de Recursos Florestais (DGRF), 2005-2006. Povoamentos Florestais, Inventário Florestal Nacional.

Direcção Geral de Recursos Florestais (DGRF), 2007. Estratégia Nacional para as Florestas.

Domac, J.; Richards, K., 2002. Final Results from IEA Bioenergy Task 29: Socioeconomic Aspects of Bioenergy Systems, 12th European Conference on Biomass for Energy And Climate Protection, 4pp.

Eggleston, S.; Buendia, L.; Miwa, K.; Ngara, T.; Tanabe, K., 2006. 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Vol. II, Intergovernmental Panel on Climate Change, Japão.

Enersilva, 2007. Promoção do Uso de Biomassa Florestal para Fins Energéticos no Sudoeste da Europa. 40pp. Forestis. Portugal

Eriksson, J., 1998 b. Dissolution of Hardened Wood Ashes in Forest Soils: Studies in a Column Experiment. Scandinavian Journal of Forest Research. Supplement 2: 23-32.

Etiégni, L. & Campbell, A.G., 1990. Physical and Chemical Characteristics of Wood Ash. Bioresource Technology 37:173-178.

Faaij, A., 2006. Assessment of the Energy Production Industry: Modern Options for Producing Secondary Energy Carriers From Biomass, In Renewables-Based Technology- Sustainability Assessment, 2006, Dewulf, J.; Van Langenhove (eds.), John Wiley & Sons, 209-230.

Federação dos Produtores Florestais de Portugal – Conselho Nacional da Floresta. Manual de Procedimentos para Aplicação de Indicadores de Gestão Florestal Sustentável.

Fernandes, P. (1998). Residual Biomass in the Vale do Sousa Region, Northern Portugal. Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, Vila Real.

Ferreira, A.G.; Gonçalves, A.C.; Pinheiro, A.C.; Gomes, C.P.; Ilhéu, M.; Neves, N.; Ribeiro, N.; Santos, P., 2001. Plano Específico de Ordenamento Florestal para o Alentejo. Alfredo Gonçalves Ferreira e Ana Cristina Gonçalves (Eds.). Universidade de Évora, 200pp. + anexos.

Ferreira, A.G.; Gonçalves, A.C.; Pinheiro, A.C.; Júlio, C.; Dias, S.S.; D'Abreu, A.C.; Neves, N.; Afonso, T., 2006 a. Base de Ordenamento Florestal. Volume I – Alto Alentejo. Universidade de Évora, 219 pp. + anexos+CD.

Ferreira, A.G.; Gonçalves, A.C.; Pinheiro, A.C.; Júlio, C.; Dias, S.S.; D'Abreu, A.C.; Neves, N.; Afonso, T., 2006 b. Base de Ordenamento Florestal. Volume II – Alentejo Central. Universidade de Évora, 223 pp. + anexos+CD.

Ferreira, A.G.; Gonçalves, A.C.; Pinheiro, A.C.; Júlio, C.; Dias, S.S.; D'Abreu, A.C.; Neves, N.; Afonso, T., 2006 c. Base de Ordenamento Florestal. Volume I – Alentejo Litoral. Universidade de Évora, 217 pp. + anexos+CD.

Ferreira, A.G.;Dias, S.S.; Gonçalves, A.C., 2008. Definição de Modelos de Silvicultura à Escala dos Planos de Ordenamento Florestal. *Silva Lusitana*. Lisboa.

Fries, C.;Johansson, O.;Pettersson, B.; Simonsson, P., 1997. Silvicultural Models to maintain and Restore Natural Stand Structures in Swedish Boreal Forests. *Forest Ecology and Management* 94:89-103.

Gan, J.;Smith, C.T.2006. Availability of Logging Residues For Electricity Production and Carbon Displacement in the USA, *Biomassa and Bioenergy* 30, 1011-1020.

Goes, A., 2007. Apresentação A Logística da Biomassa Florestal, Seminário “Aproveitamento da Biomassa Florestal para Fins Energéticos”, Santarém, 6 Junho 2007.

Haberl, H.;Erb, KH., 2006. Assessment of Sustainable Land Use in Producing Biomass, in *Renewables-Basead Tecnology- Sustainability Assessment, 2006*, Dewulf, J., Van Langenhove (eds.), John Wiley&Sons, 175-192.

Hakkila, P. 2004. Development Tecnology for Large – Scale Production of Forest Chips, *Wood Energy Tecnology Programme*, Tekes, 99pp.

Hakkila, P.;Parikka,M.,2002. Fuel Resources from the Forest – IN: Richardson, J.;Bjorheden, R.;Hakkila, P.;Lowe, A.T.;Smith, C.T (eds). *Bioenergy from Sustainable Forestry. Guiding Principales and Practise*. Kluwer Academic Publishers, 344pp.

Hall, D.O. & Coombs, J.,1987. Biomass Energy in Europe – IN: *Biomassan uusia jalostusmahdollisuuksia (New possibilities to process biomass)*. VTT Symposium 75, Espoo, pp 27-49.

Hall,P.,2002. Sustainable Production of Woody Biomassa for Energy, *IEA Bioenergy*, 12pp.

Hanski, I., 2000. Extinction Debt and Species Credit in Boreal Forests: Modelling the Consequences of Different Approaches to Biodiversity Conservation. *Annales Zoologici Fennici* 37:271 – 280 – IN: *Sustainable Use of Forest Biomass for Energy – A Sybthesis With Focus on the Baltic and Nortic Region*.

Hjalmarsson A-K.,Bjurstrom H.;Sedendahl, K.,1999. Handbook for restprodukter fran forbranning iin Swedish - IN: *Sustainable Use of Forest Biomass for Energy – A Sybthesis With Focus on the Baltic and Nortic Region*.

Holmroos, S., 1993. Karakterisering av Vedaska. VU-E 93:E64, Ekraftteknik VI-EC, Vattenfall Utveckling AB - IN: *Sustainable Use of Forest Biomass for Energy – A Sybthesis With Focus on the Baltic and Nortic Region*.

Huikari, O., 1951. Havaintoja Ojitettujen rimpinevojen taimettumista ehkaisevista tekijoista. *Suo: Mires and Peat* 2:1-4 - IN: *Sustainable Use of Forest Biomass for Energy – A Sybthesis With Focus on the Baltic and Nortic Region*.

IN LOCO, 2010. Plano Especifico de Intervenção Florestal – Zona de Intervenção Florestal (ZIF) Arade- Alte/ São Bartolomeu de Messines.

- International Energy Agency (IEA), 1998. World Energy Outlook, 1998, IEA. Paris.
- International Energy Agency (IEA), 2002 a. IEA. Paris.
- International Energy Agency (IEA), 2003a. Energy Balances of non- OECD Countries 2000-2001. IEA. Paris.
- International Energy Agency (IEA), 2003 c. Statistics Renewables information.
IEA/NEA, 2002. Externalities and Energy Policy: The Life Cycle Analysis Approach. Workshop proceedings. OCDE. Paris.
- International Energy Agency (IEA), 2007 a. Key World Energy Statistics 2007.
- International Energy Agency (IEA), 2007 b. Biomass for Power Generation and CHP, IEA Energy Technology Essentials.
- Jacobson, S., 2003. Addition of Stabilized wood ashes to Swedish Coniferous Stands on Mineral Soils – Effects on Stem Growth and Needle Nutrient Concentrations. *Silva Fennica* 37: 437-450.
- Kanury, A., 1994. Combustion Characteristics of Biomass Fuels. *Combustion Science and Technology* 97.
- Karekezi, S & Kithyoma, W, 2002. Renewable Energy Strategies for Rural Africa: is a PV-led Renewable Energy Strategy the Right Approach for Providing Modern Energy to the Rural Poor of Sub- Africa?, in *Energy Policy*, Elsevier Science. UK.
- Kgathi DR; Hall DO; Hategeka A, Sekhwela, M., eds. 1997. Biomass Energy Policy in Africa: Selected Case Studies. London, UK. Zed Books.
- Laiho, R.; Prescott, CE., 2004. Decay and Nutrient Dynamics of Coarse Woody Debris in Northern Coniferous Forests: a Synthesis. *Canadian Journal of Forest Research* 34:763-777.
- Lindkvist, L., 2000. Aska från biobransle. Produktion – och Kvalitetsaspekter beträffande näringskompensation och vitalisering av skogsmark. Rapport, 5, Skogsstyrelsen, Jonköping, 31pp (in Swedish) - IN: Sustainable Use of Forest Biomass for Energy – A Synthesis With Focus on the Baltic and Northic Region.
- Lukkala, O., 1951. Experiences from Jaakoinen experimental drainage area. *Communications Instituti Forestalis Fenniae* 39:1-53 – IN: Sustainable Use of Forest Biomass for Energy – A Synthesis With Focus on the Baltic and Northic Region.
- Lukkala, O., 1955. Soil improving substances and fertilizers as an aid to forest drainage. *Metsätölkellinen Aikakauslehti* 8 :273-276 – IN: Sustainable Use of Forest Biomass for Energy – A Synthesis With Focus on the Baltic and Northic Region.
- Lousada, J., 2010. Avaliação das Propriedades Termoquímicas de Várias Madeiras Nacionais e Exóticas. 1º Congresso Ibérico de Biocombustíveis Sólidos. Pontevedra. Espanha. 21-23 Junho.

- Lousada, J.;Telmo, C.;Moreira,N.,2010. Proximate Analysis, Backwards Stepwise Regression Between Gross Calorific Value, Ultimate and Chemical Analysis of Wood. UTAD & CITAB. Vila Real.
- Lousada, J.;Telmo, C.,2011. The Explained Variation by Lignin and Extractive Contents on Higher Heating Value of Wood. UTAD & CITAB. Vila Real.
- Lousada, J.;Telmo, C., 2011. Heating Values of Wood Pellets From Different Species. UTAD & CITAB. Vila Real.
- MacDonald, A.J., 2007. Overview of Systems for Recovery of Residual Biomassa, Forest Engineering Research Institute of Canada, 31 pp.
- Mann, M.;Spath, P.,2000. A Summary of Life Cycle Assessment Studies Conducted on Biomass, Coal, and Natural Gas Systems, National Renewable Energy Laboratory, 8pp.
- Marques, C.P.;Fonseca, T.,2007. Apontamentos de Inventário Florestal – Módulo de Amostragem. Departamento da Engenharia Florestal,UTAD. Vila Real.
- Martin, L.; Lara, C.,1989. Inflamabilidad y Energia de las Especies de Stobosque. Laboratorio de Incendios Forestales. CIT-INIA. Madrid.
- Mateus, T., 2008. O potencial Energético da Floresta Portuguesa: Análise do Potencial Energético disponível para as Centrais Termoeléctricas a Biomassa Florestal Lançadas a Concurso. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.
- Mckendry, P., 2002 a, Energy Production from Biomass (part 3): Gasification Technologies, Bioresource Technology 83, 55-63.
- McKendry, 2002 b, Energy Production from Biomass (part 2): Conversion Technologies, Bioresource Technology 83, 47-54.
- Moller, IS.,2000. Calculation of Biomass and Nutrient Removal for Different Harvesting Intensities. New Zealeand Journal of Forestry Science 30: 29-45.
- Netto, CPCA.,2008. Potencial da Biomassa Florestal Residual para Fins Energéticos de Três Concelhos do Distrito de Santarém. Tese de Mestrado em Engenharia do Ambiente, perfil Gestão e Sistemas Ambientais. Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa. Lisboa.
- Nilsson, J. & Timm, B.,1983. Environmental Effects of Wood and Peat Combustion. Summary and Conclusions. Swdsh National Environmental Protection Board. 1844, 1983, Solna.
- Oehme, I., 2006. Development of Ecological Standards for Biomass in the Framework of Green Electricity Labelling, Clean-E Project, 78pp.
- Oliveira Batista, F.;Terra Santos, R., 2006. Proprietários Florestais Privados: Caracterização e Critérios de Gestão, de Incêndios Florestais em Portugal – Caracterização, Impactes e Prevenção, 2006, Santos Pereira, J.;Cardoso Pereira, J.;Castro Rego, F.;Neves Silva, J.;Pereira da Silva, T. (editores), ISA PRESS, Lisboa, 41-71.

Oliveira, A.C.,1984. Teoria da Produção Florestal. 2ªEdição. CEF, 531pp.

Parton, W.;Silver WL.;Burke, IC.;Grassons, L.; Harmon, ME.;Currie, WS.;King, JY.;Adair, EC.;Brandt, LA.;Hart,SC.;Fath,B., 2007. Global-Scale Similarities in Nitrogen Release Patterns During Long-Term Decomposition. Science 315:361-364.

Pedro, N., 2003. Criação de um Sistema de Informação Geográfica para gestão de Resíduos de Pinheiro Bravo. UTAD. Vila Real.

Pettersson, F., 1990. Complementary Fertilization After Whole-Tree Thinning. In - Sustainable Use of Forest Biomass for Energy – A Sybthesis With Focus on the Baltic and Nortic Region.

PNALE 2007. Metodologia de Atribuição de Licenças de Emissão Março de 2003.

Ranta, T.,2003.Logging Residues from Regeneration Fellings for Biofuel production – a GIS Based Availability and Supply Cost Analysis. Acta Universitatits Lappeenrantaensis 128, 166 pp.

Reddy, K.N.; Williams, R.H; Johansson T.B., 1997. EnergyAfter Rio: Prospects andCallenges. United Nations Development Programme, New York.

Rosillo-Calle, F.; de Groot, P.; Hemstock, S.; Woods, J., 2007. The Biomass Assessment Handbook – Bioenergy for a Sustainable Environment, Earyhscan, Cornwall, 269pp.

Resolução do Conselho de Ministros nº 1/2008, de 4 de Janeiro de 2008, Plano Nacional de Atribuição de Licenças de Emissão Relativo ao Período 2008-2012 (PNALE II), Diário da República nº3, I Série.

Roser, D.;Asikainen, A.; Raulund-Rasmussen, K.; Stupak, I., 2008.Sustainable Use of Forest Biomass for Energy – A Sybthesis With Focus on the Baltic and Nortic Region. Springer, Lisboa.

Schutz, J.P.,1997. Syviculture 2. La gestion dès forêts irrégulières et mélangées, 178 pp – IN: Ferreira, A.G.;Dias, S.S.; Gonçalves, A.C., 2008. Definição de Modelos de Silvicultura à Escala dos Planos de Ordenamento Florestal. Silva Lusitana. Lisboa.

Skogsstyrelsen,2001. Skogsstyrelsens, hot eller mojlighet? – vagledning till miljovanligt skogsbransleuttag (Forest fuel, threat or possibility – guidance to environmentally friendly removal of forest fuel). Jonkoping, Skogsstyrelsen Forlag:119 pp (in Swedish) – IN: Sustainable Use of Forest Biomass for Energy – A Sybthesis With Focus on the Baltic and Nortic Region.

Simões, A., 1999. Estudo de Sistemas de Aproveitamento de Biomassa Florestal para Produção de Energia, Relatório de Fim de Curso de Engenharia Florestal, Instituto Superior de Agronomia, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, 100pp.

Silva, R.; Tavares, M.;Páscoa, F.,1987. Biomassa Florestal Residual Das Operações Florestais- Pinheiro Bravo e Eucalipto. Floresta 8: 7-10.

Silva, M., 2009. Análise do Balanço entre Sequestro e Emissão de CO_2 Resultante do Circuito de Produção e Consumo de Biomassa Florestal Numa Central de Co-geração. Tese de mestrado em Bioenergia – Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa. Lisboa.

Sims, R., 2002. The Brilliancy of Bioenergy- In Business and Praticce, James and James, UK, 316 pp.

Smith, D.M.;Larson, B.C.;Kelty, M.J.;Ashton, P.M.S.,1997. The Practice of Silviculture. Applied Forest Ecology. 9º Edition. John Wiley & Sons, Inc, 537 pp.

Steenari, BM.; Karlsson, LG.;Lindqvist, O.,1999. Evaluation of the Leaching Characteristics of Wood Ash and the Influence of Ash Agglomeration. Biomassa d Bioenergy 16:119-136.

Stultz, S.C.;Kitto, J.B.,1992. Steam- it´s Generation and Use. The Badcock & Wilcox Company, Barberton. Ohio USA.

Stupak, I.; Kukkola, M.;Varnagiryte-Kabasinsnskiene I, 2007 a. Biomass and Nutrient removals in Norway Spruce, Scots Pine, and Birch Over one Rotation – The Influence of Harvesting Intensity, Site Productivity, Target Diameter, and Nutrient Concentration Levels. Forest & Landscape Denmark (manuscript).

Stupak, I.;Nordfjell, T.;Gundersen, P., 2007 b. Comparing and Nutrient removals of Stems, Fresh or Pre-Dried Whole Trees: a Case Study of Norway Spruce Thinnings in Denmark. Forest & Landscape Denmark (manuscript).

Tabarés, J & Ortiz, L.,2000. Feasibility Study of Energy Use for Densificated Lignocellulosic Material (briquettes).

Tamm, CO., 1991. Nitrogen in terrestrial ecosystems. Springer-Verlag, Heidelberg.

Tomé, J.; Tomé, M., 1994. Individual tree Volume and Taper Estimation for Eucalyptus Globulus. In Eucalyptus for Biomass Production. Edited by J.S. Pereira, And H. Pereira. Commission of the European Communities (CEC).

Tomé, M.; Barreiro, S.;Cortiçada, A.;Paulo, J.A.;Meyer, A.;Ramos, T., 2007 a . Inventário 2005-2006. Áreas, Volumes e Biomassas dos Povoamentos Florestais. Resultados Nacionais e por NUT's II e III. Publicações GIMREF- RT 5/2007. Centro de Estdos Florestais – Instituto Superior de Agronomia – Universidade Técnica de Lisboa. Relatório.

Tomé, M.; Ribeiro, F.;Faias, SP., 2001. Equações para Estimação de Volumes Totais e mercantis da árvore para o Eucalyptus Globulus em Portugal. Relatórios Técnico-científicos do GIMREF nº 4/ 2001. Centro de Estudos Florestais – Instituto Superiro de Agronomia – Universidade Técnica de Lisboa. Relatório.

Tomé, M.; Tomé, J.; Ribeiro, F.; Faias, S.P, 2007 b. Equação de Volume Percentual e de Perfil do Tronco para Eucalyptus Globulus Labill em Portugal. Silva Lusitana 15 (1): 25-39.

Ulrich, B., 1987. Stability, Elasticity, and Resilience of Terrestrial Ecosystems With Respect To Matter Balance. In: Schultze ED, Zwolfer HZ (eds). Potentials and Limitations of Ecosystem Analysis. Springer-Verlag, Berlin, Ecological Studies 61:11-49.

UN, 1992. United Nations Conference on Environment and Development. Rio de Janeiro, 3-14 June 1992. www.unep.org .

Veijonen, K.; Vanikka, P.; Jarvinen, T.; Alakangas, E., 2003. Biomass Co-Firing- Na Efficient Way to Reduce Greenhouse Gas Emissions, Eubionet, 28pp.

Vestirinen, P., 2003. Wood ash Recycling State of the Art Finland and Sweden (Draft), VTT Processes, 50 pp.

VTT, 2001. Production of Forest Chips in Finland, OPET Report 6, 58 pp.

VTT, 2007. Forest Residue Supply Chain for CHP Plants in Central Finland, EUBionet 2, 9pp.

Watmough, SA.; Dillon, PJ., 2003. Base Cation and Nitrogen Budgets for a Mixed Hardwood Catchment in South-Central Ontario. *Ecosystems* 6:675-693.

WCED, 1987. Our Common Future. World Commission on Environment and Development, Oxford University Press, Oxford, 43pp.

Wei, X.; Kimmins, JP.; Zhou, G., 2003. Disturbances and the Sustainability of Long-Term Site Productivity in Lodgepole Pine Forests in the Central Interior of British Columbia- na Ecosystem Modeling Approach. *Ecological Modelling* 164:239-256.

Weetman, GF., 1998. A Forest Management Perspective On Sustained Site Productivity. *Forestry Chronicle* 74:75-77.

Wiesenthal, T.; Mourelatou, A.; Petersen, J.E.; Taylor, P., 2006. How Much bioenergy Can Europe Produce Without Harming the Environment?. European Environment Agency, 67pp.

Wihersaari, M., 2003. Greenhouse Gas Emissions From Final Harvest Fuel Chip Production in Finland, *Biomass and Bioenergy* 28 (5), 435-443.

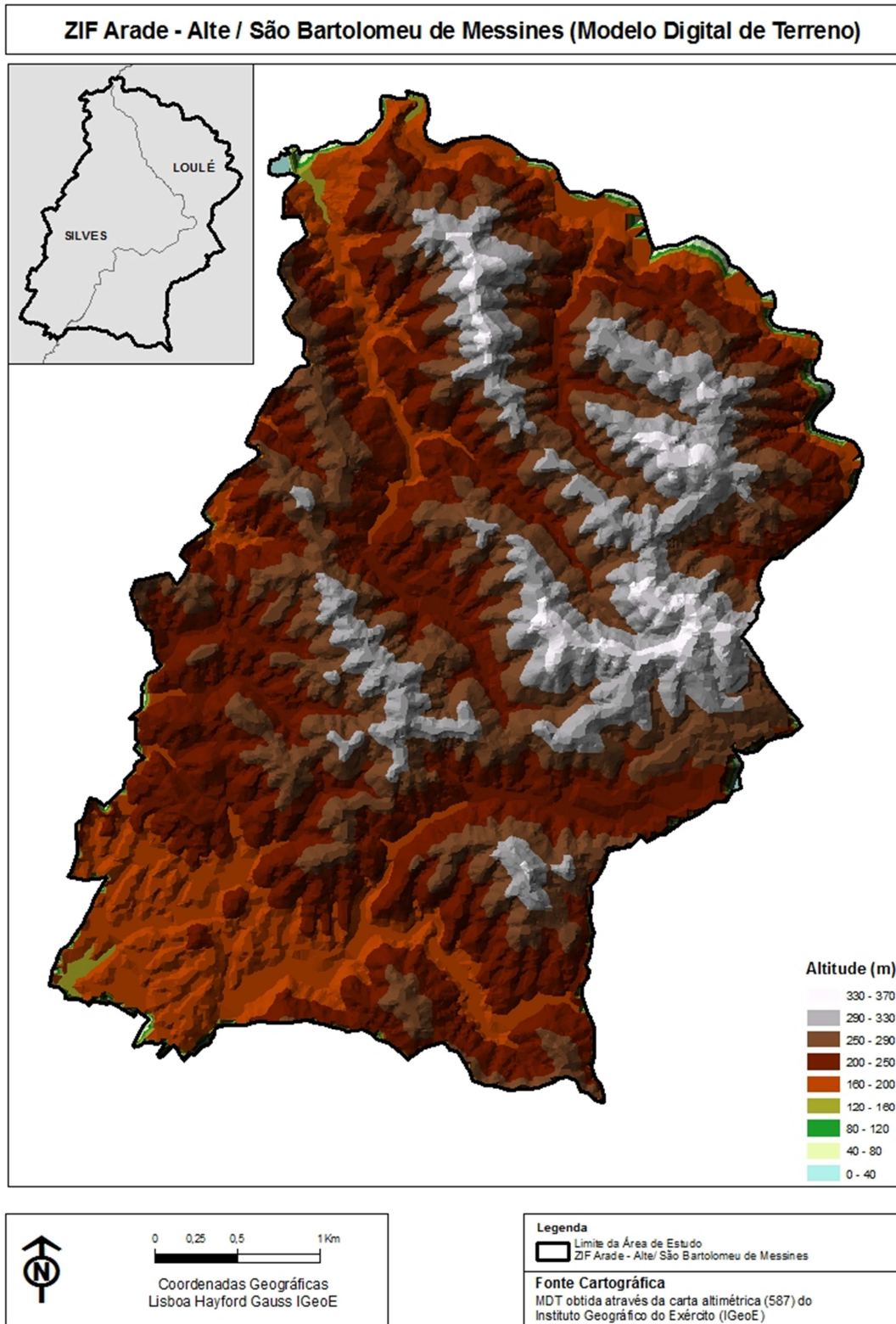
World Bank, 2003. World Development Report: 2003. World Bank, Washington D.C.

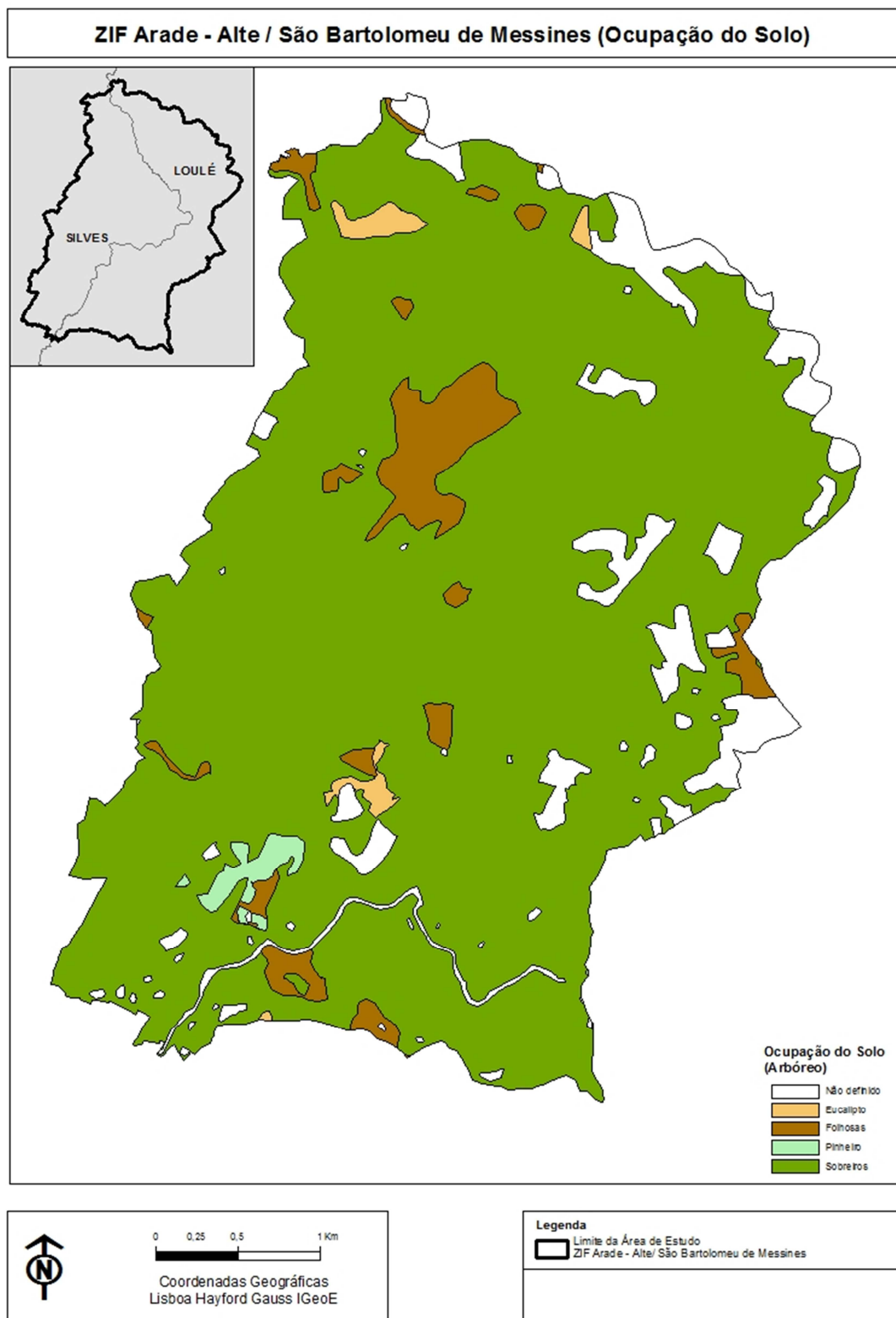
Yoshioka, T.; Aruga, K.; Nitami, T.; Kobayashi, H.; Sakai H.; 2005. Energy and Carbon Dioxide Balance of Logging Residues As Alternative Energy Resources: System Analysis Based on the Method of a Life Cycle Inventory (LCI) Analysis, *Journal of Forest Research*, 10 (2), 125-134.

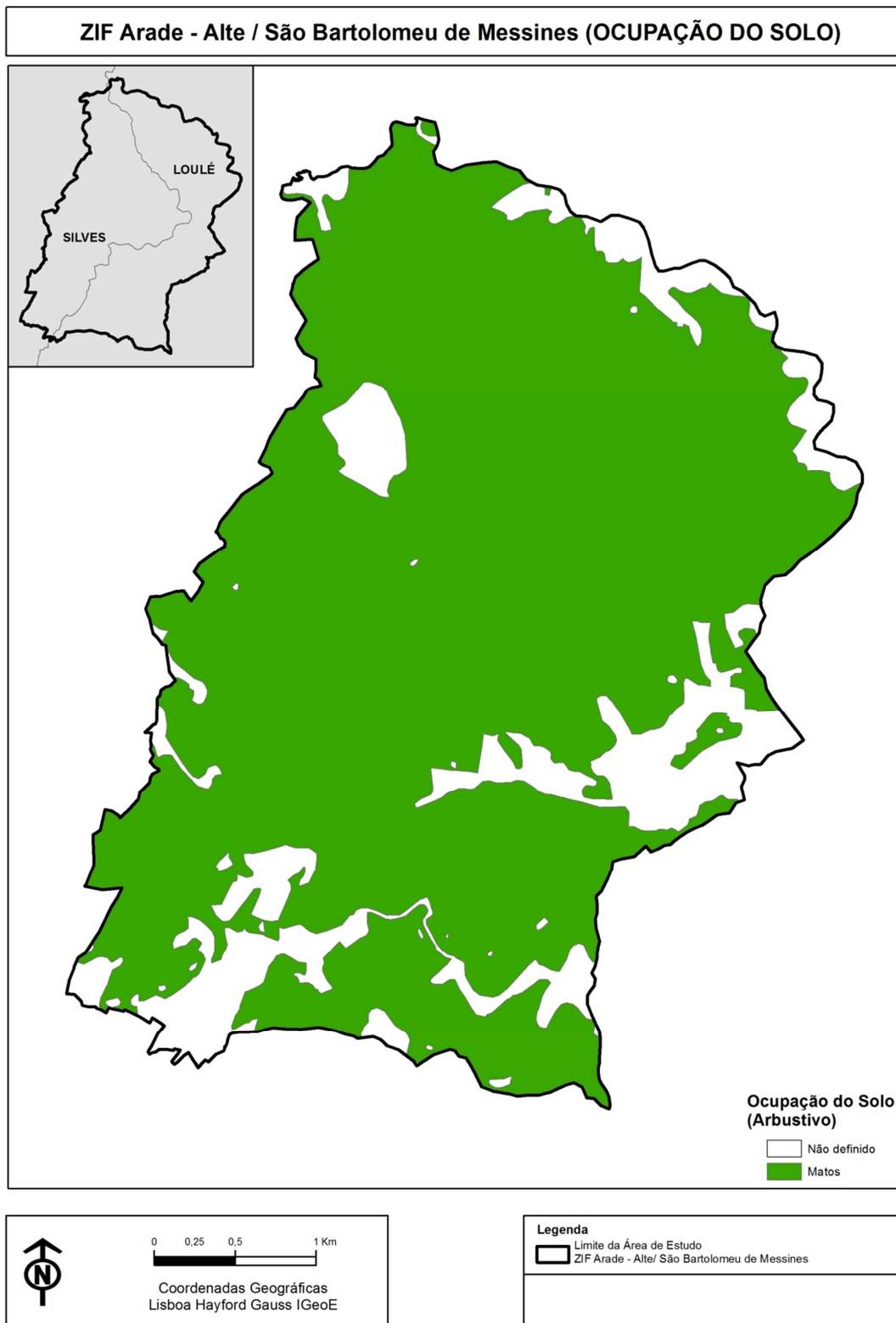
Sites da Internet:

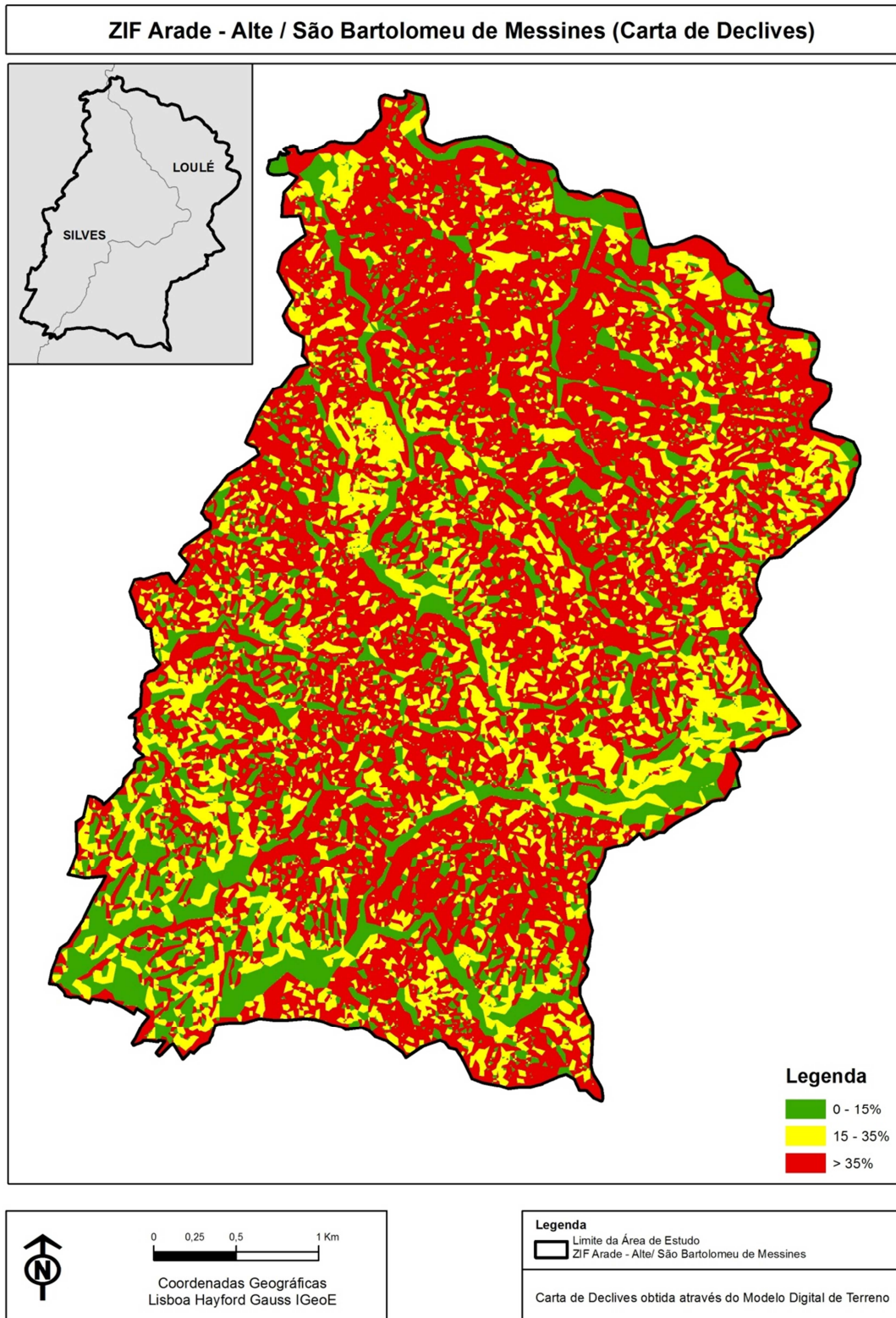
- 1 - Câmara Municipal de Silves: www.cm-silves.pt, acedido em 2011;
- 2 - Câmara Municipal de Loulé: www.cm-loule.pt, acedido em 2011;
- 3 - Agência Portuguesa do Ambiente: www.apambiente.pt, acedido em 2011;
- 4 - Energias renováveis: www.energiasrenovaveis.com, acedido em 2011;
- 5- Autoridade Florestal Nacional: www.dgrf.min-agricultura.pt, acedido em 2011;
- 6 - Direcção Geral dos Recursos Florestais: www.dgrf.min-agricultura.pt, acedido em 2011;
- 7 - Lusitânia Gás: www.gaspropano.galpenergia.pt, acedido em 2011;
- 8 - www.adene.pt, acedido em 2011.

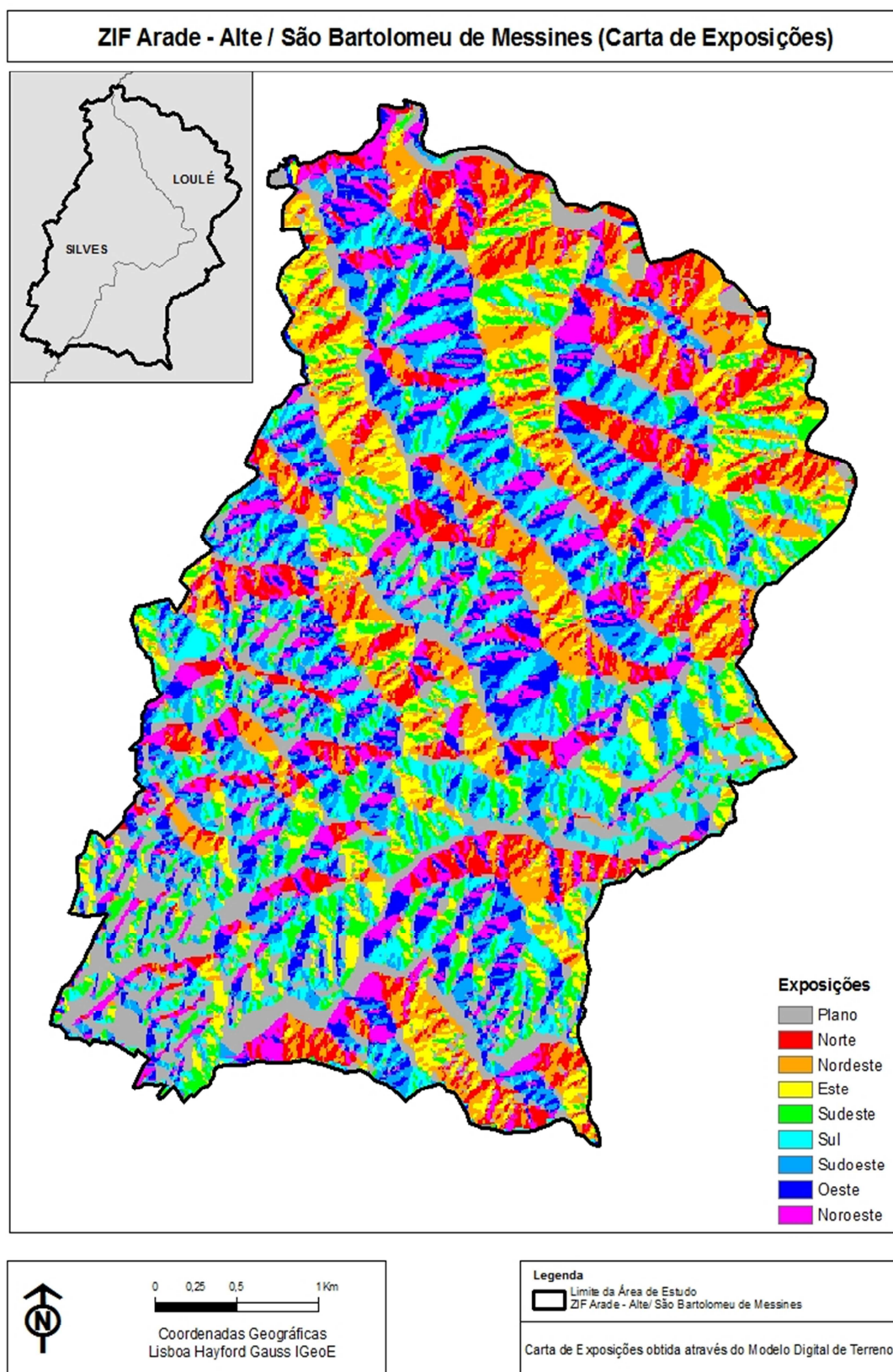
10. ANEXO I - MAPAS E CARTAS



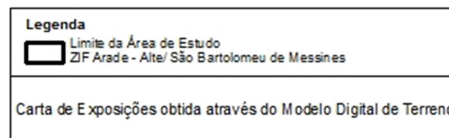
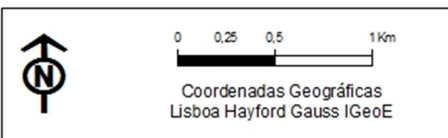
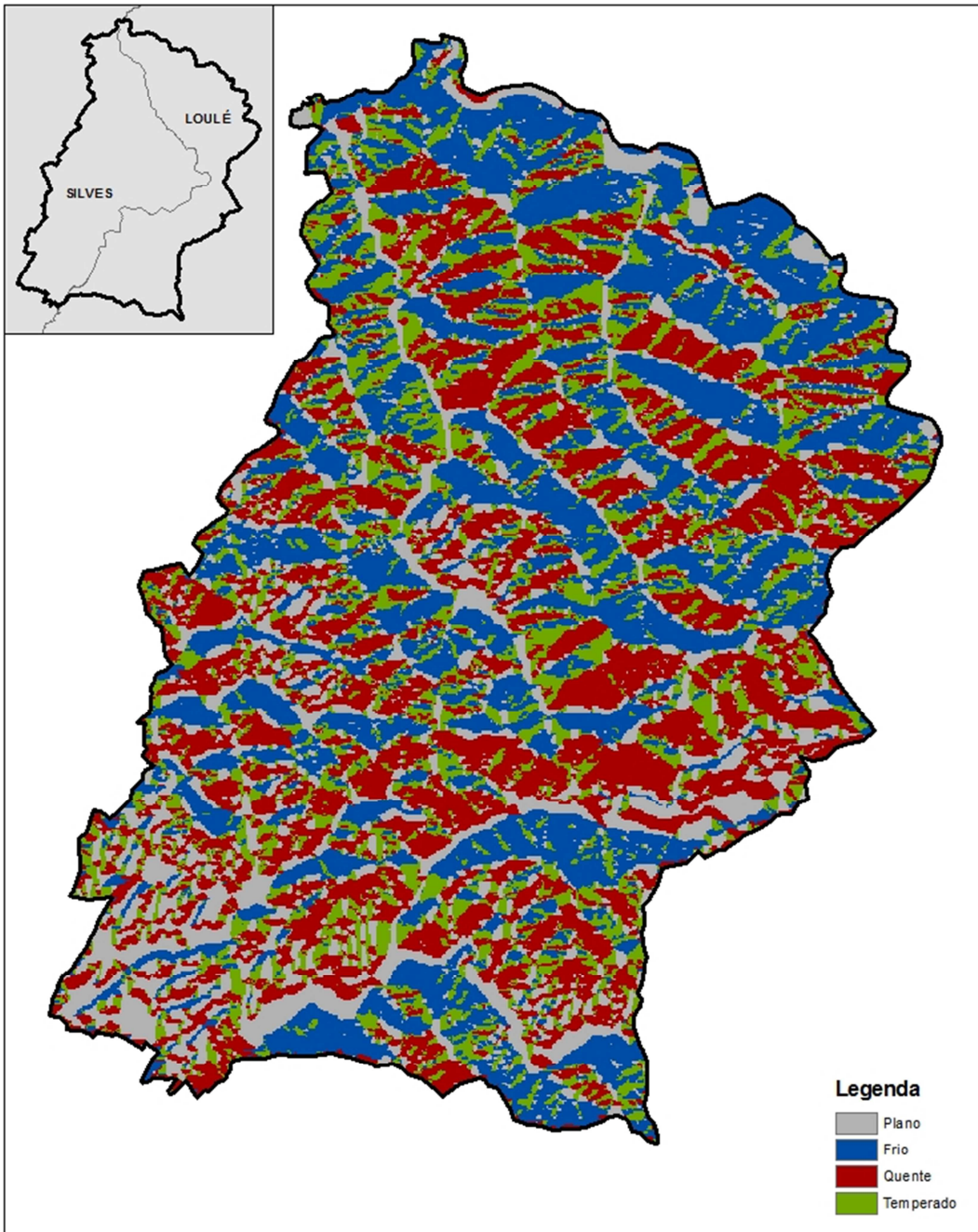




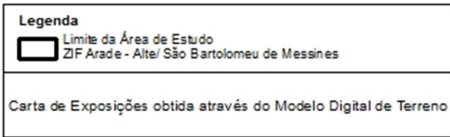
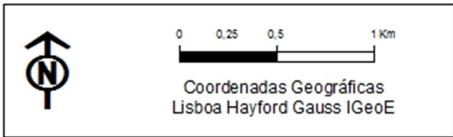
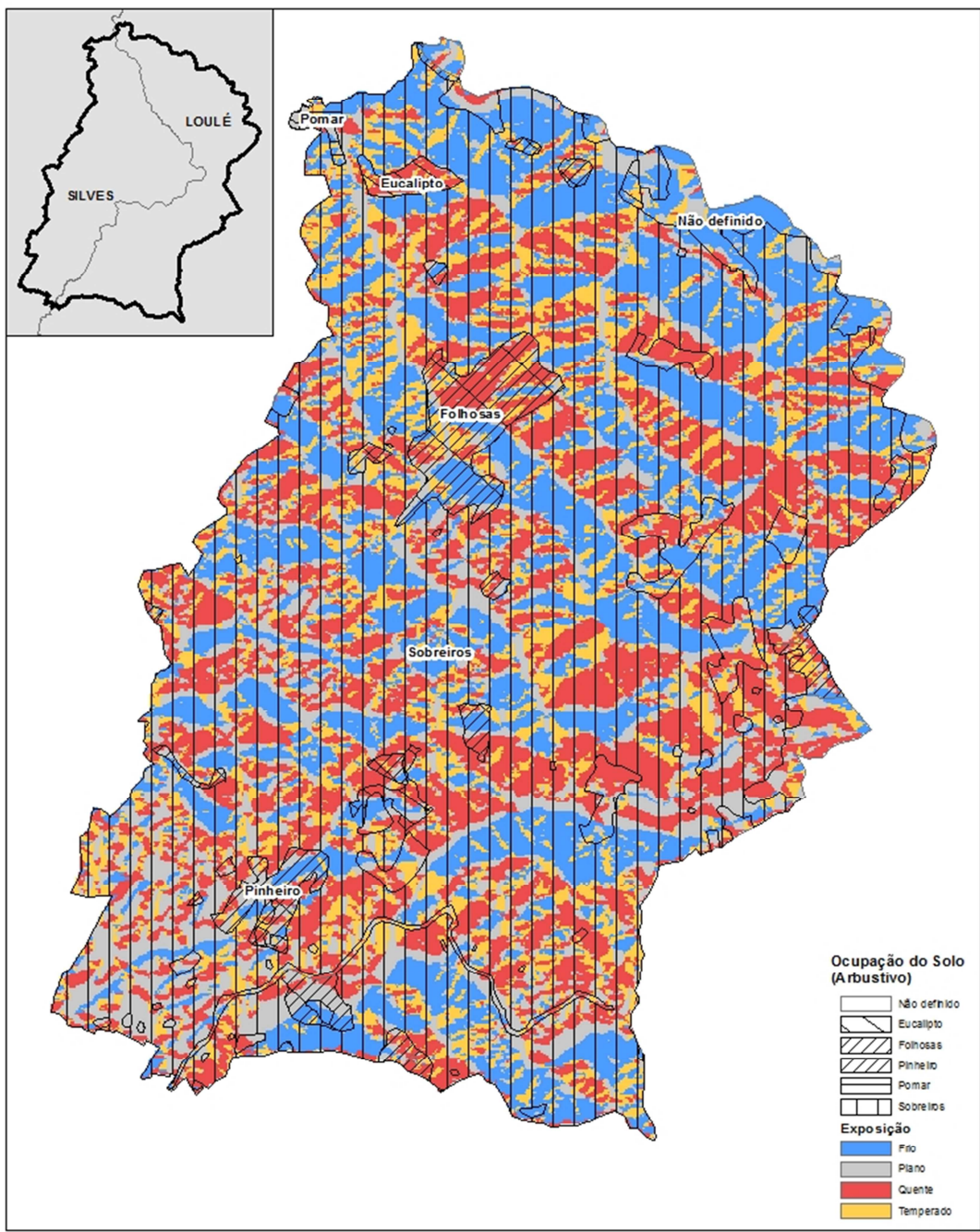




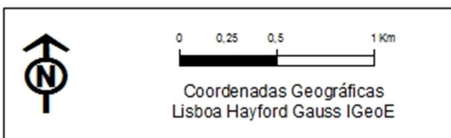
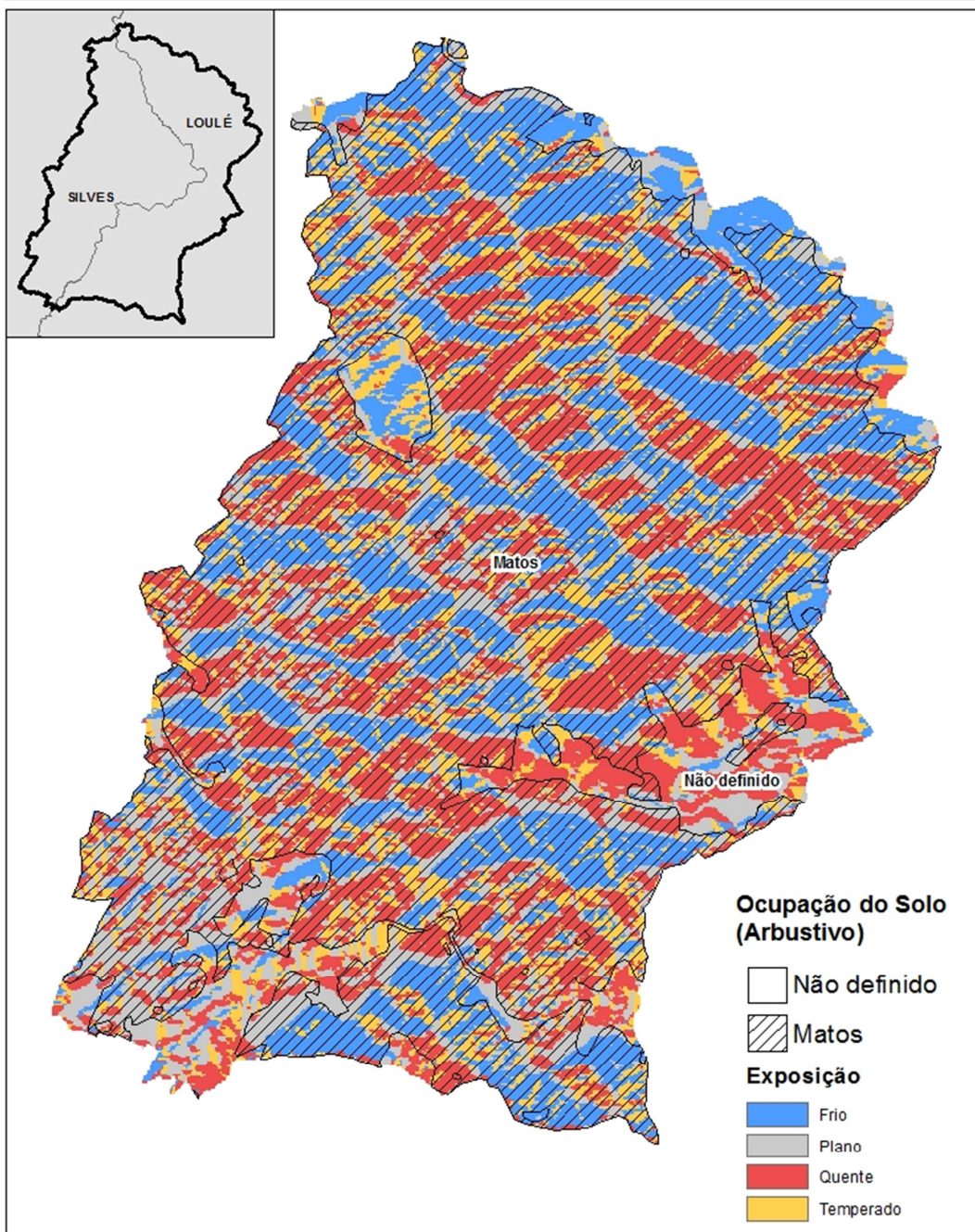
ZIF Arade - Alte / São Bartolomeu de Messines (Carta de Exposições)



ZIF Arade - Alte / São Bartolomeu de Messines (Exposições + Ocupação do Solo)



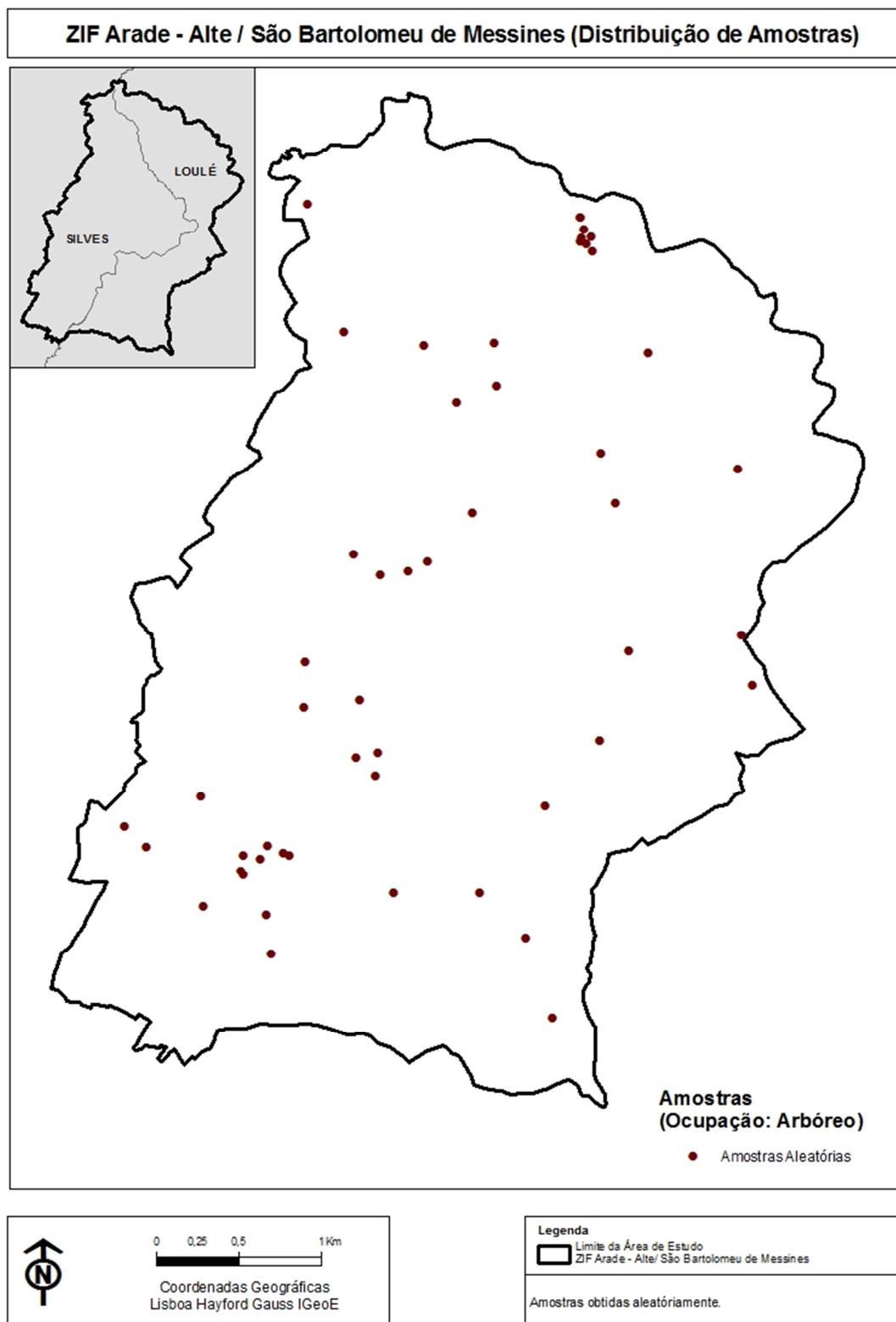
ZIF Arade - Alte / São Bartolomeu de Messines (Exposições + Ocupação do Solo)

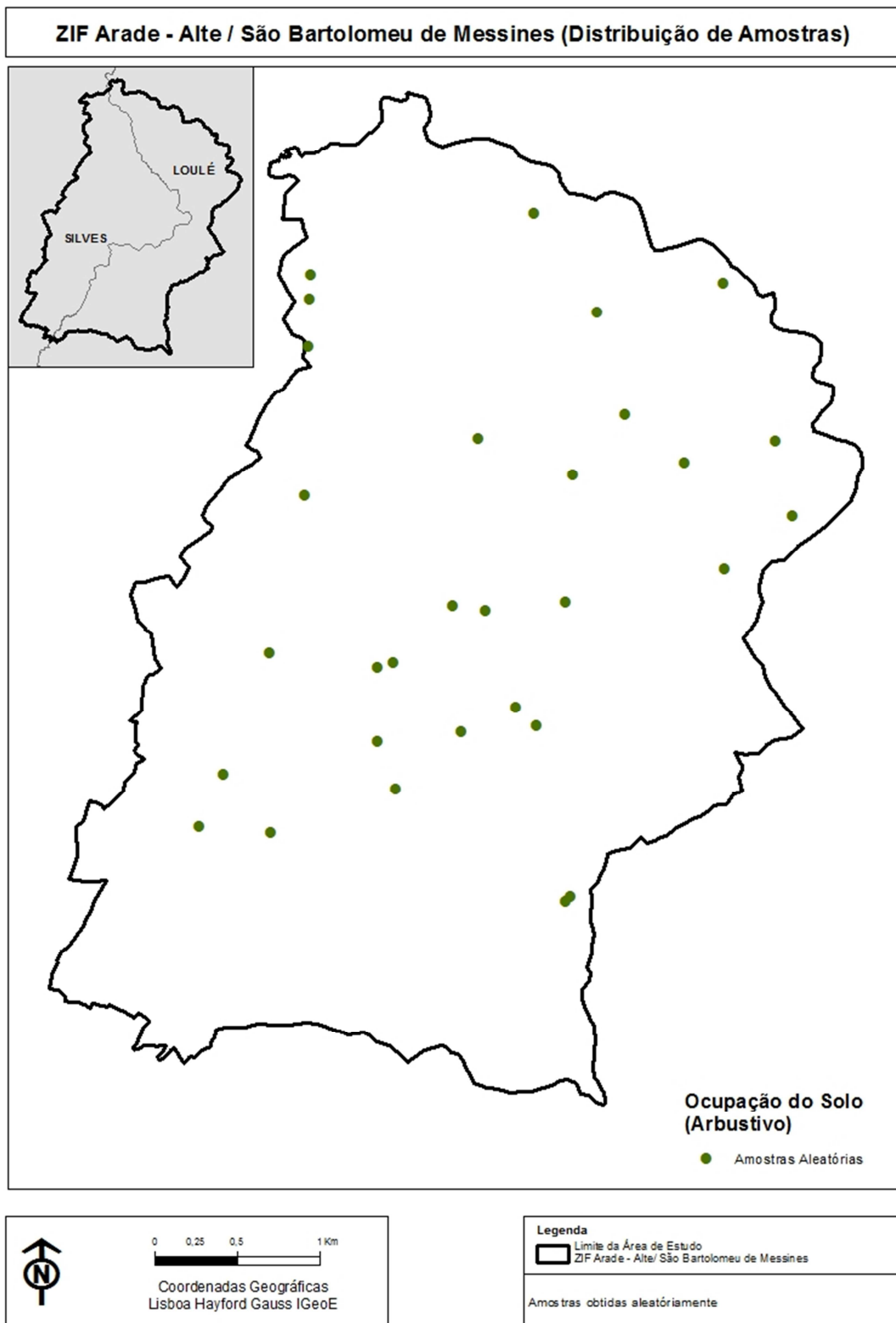


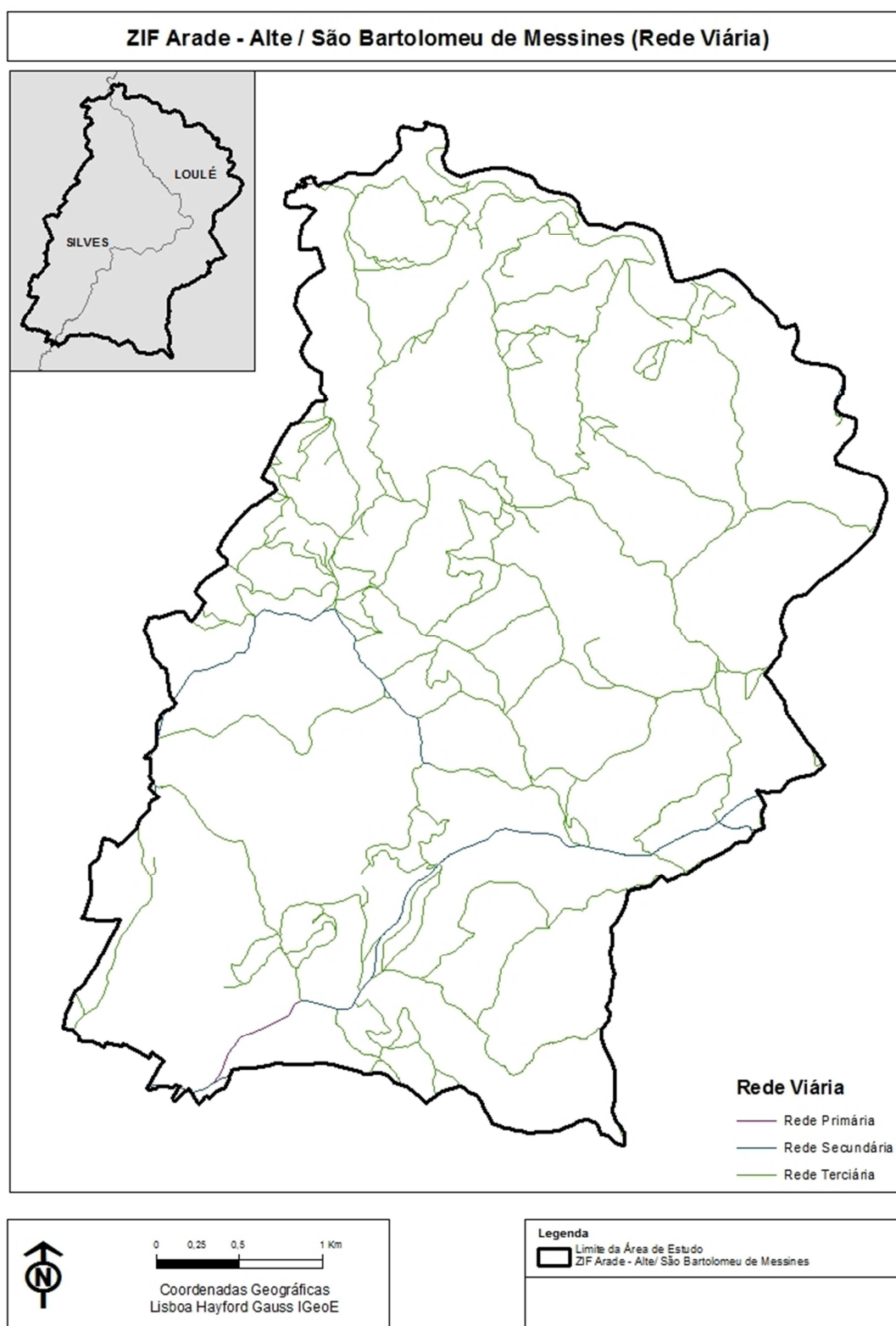
Legenda

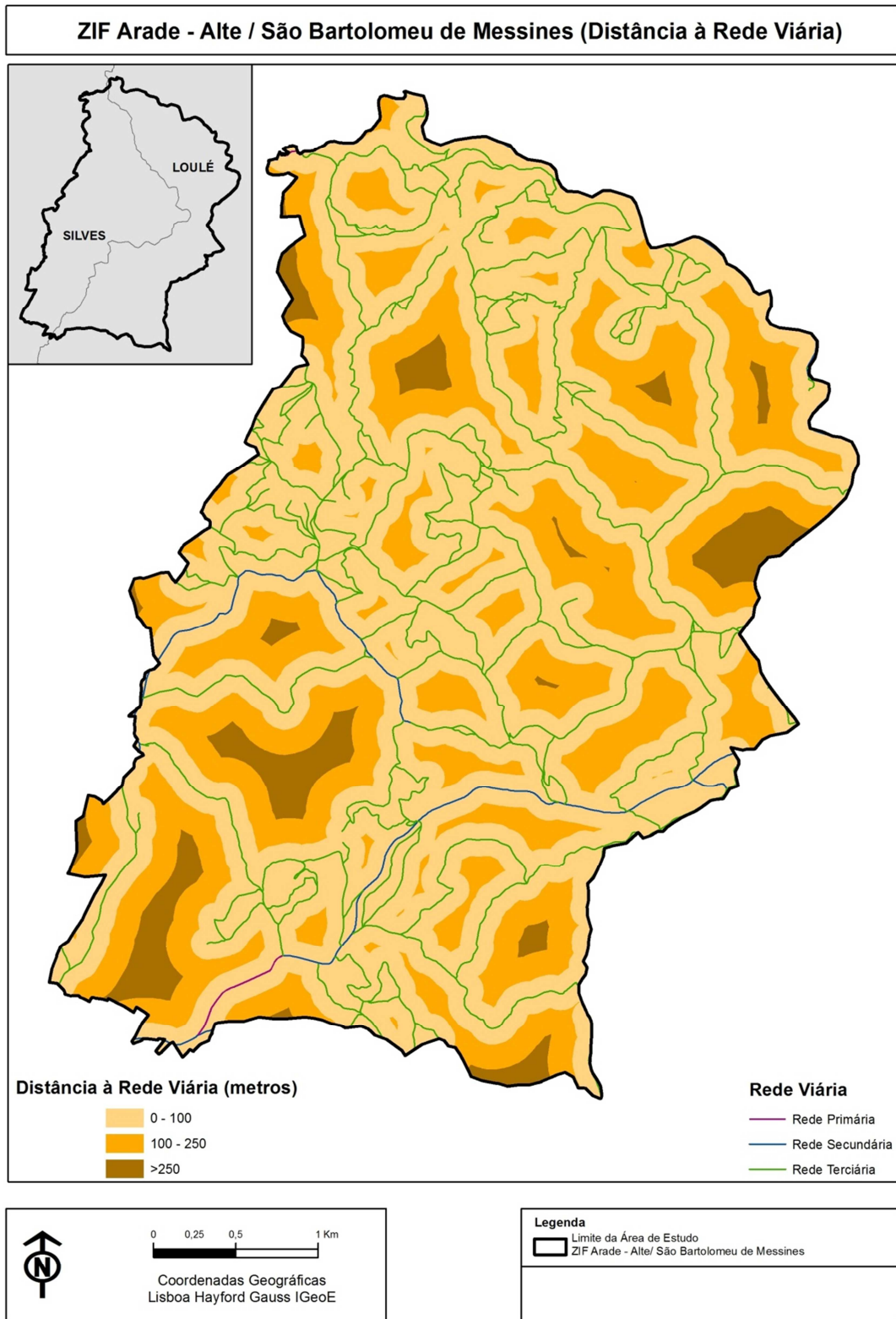
- Limite da Área de Estudo
- ZIF Arade - Alte/ São Bartolomeu de Messines

Carta de Exposições obtida através do Modelo Digital de Terreno

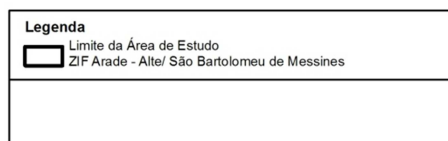
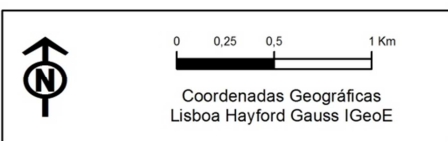
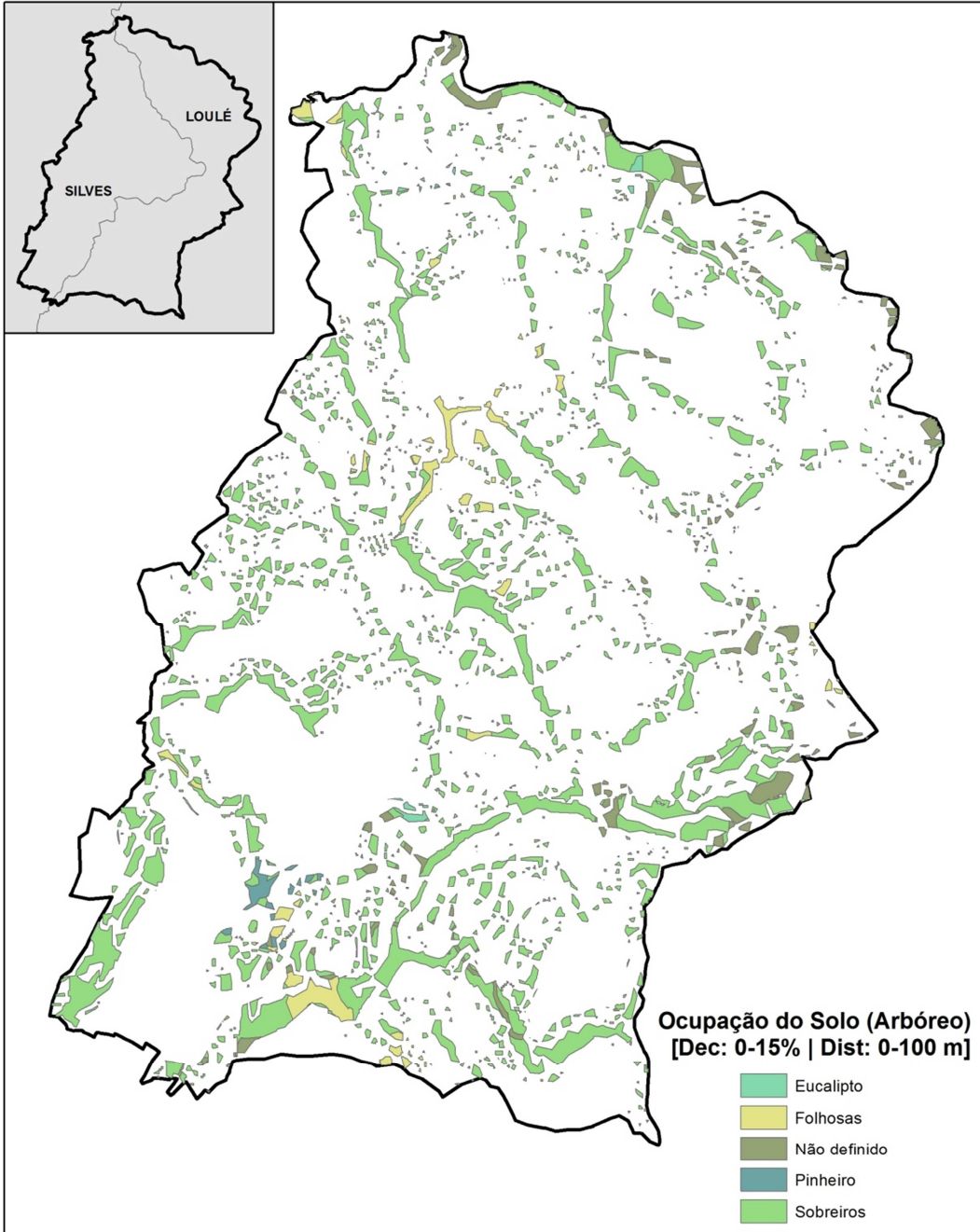




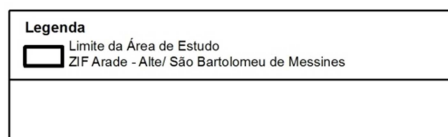
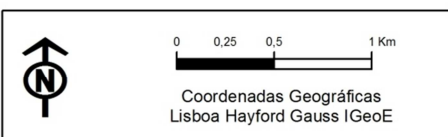
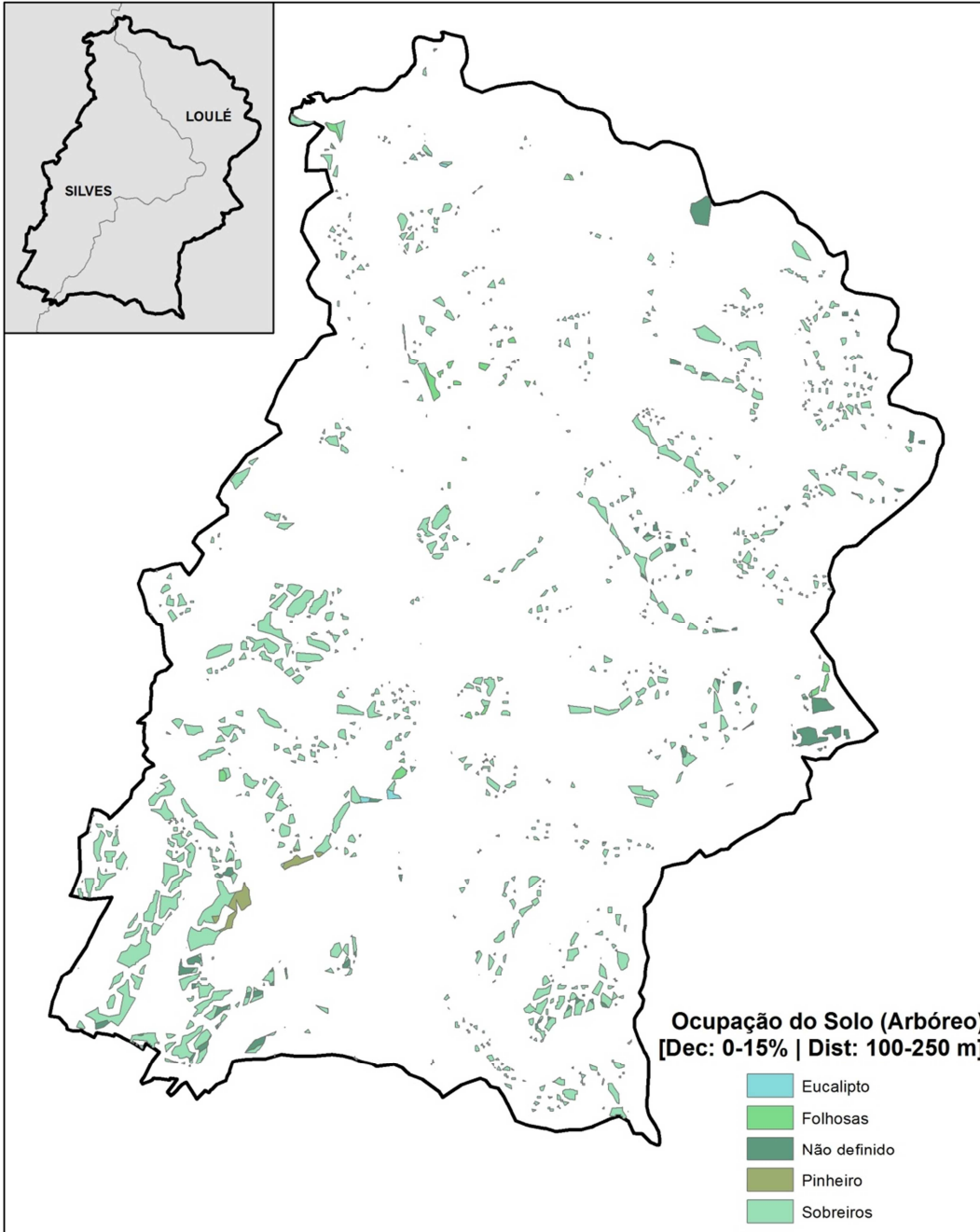




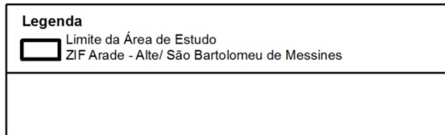
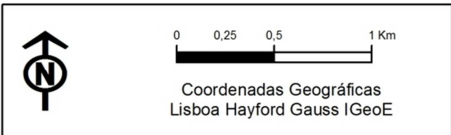
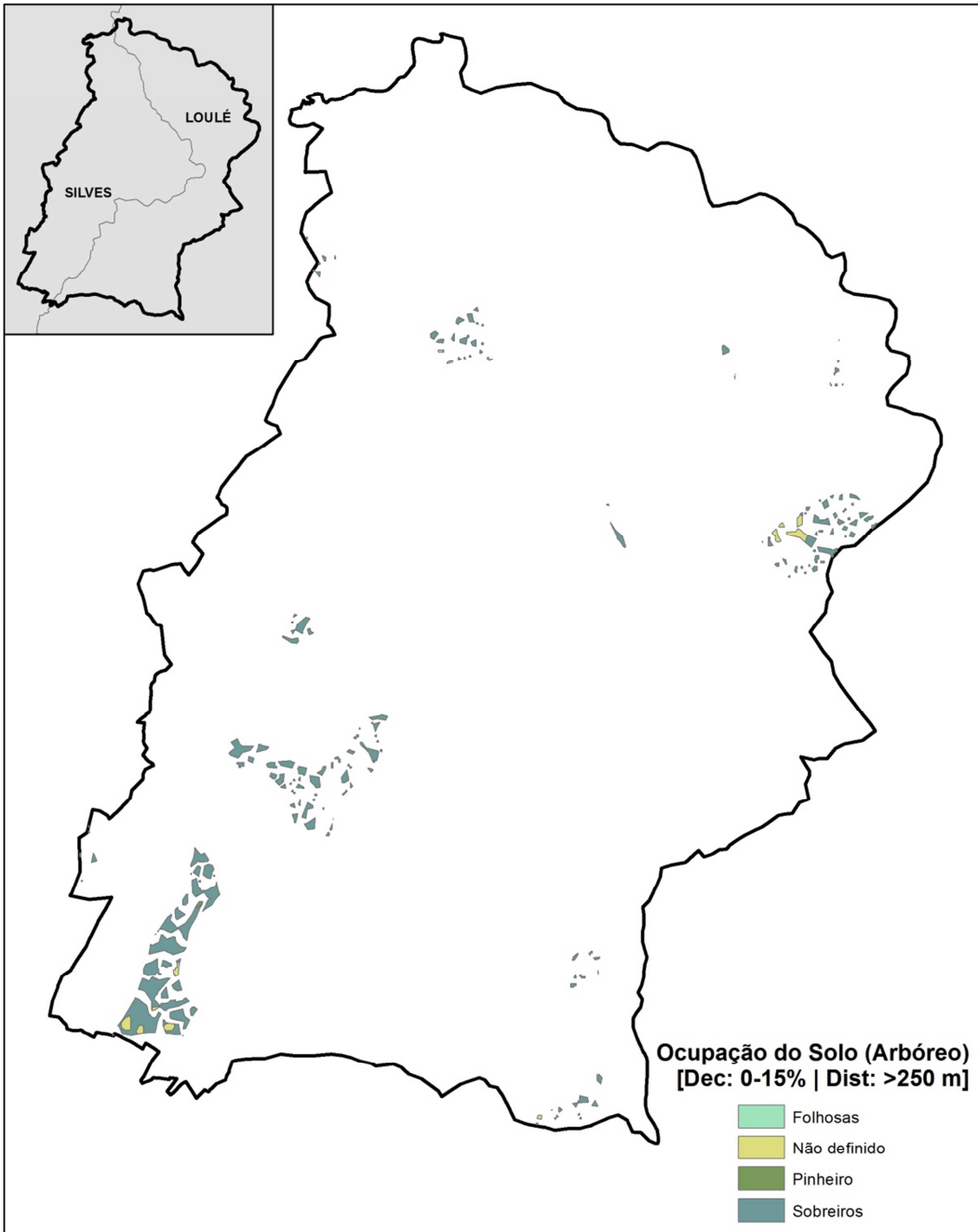
ZIF Arade - Alte / São Bartolomeu de Messines (Distribuição Espacial)

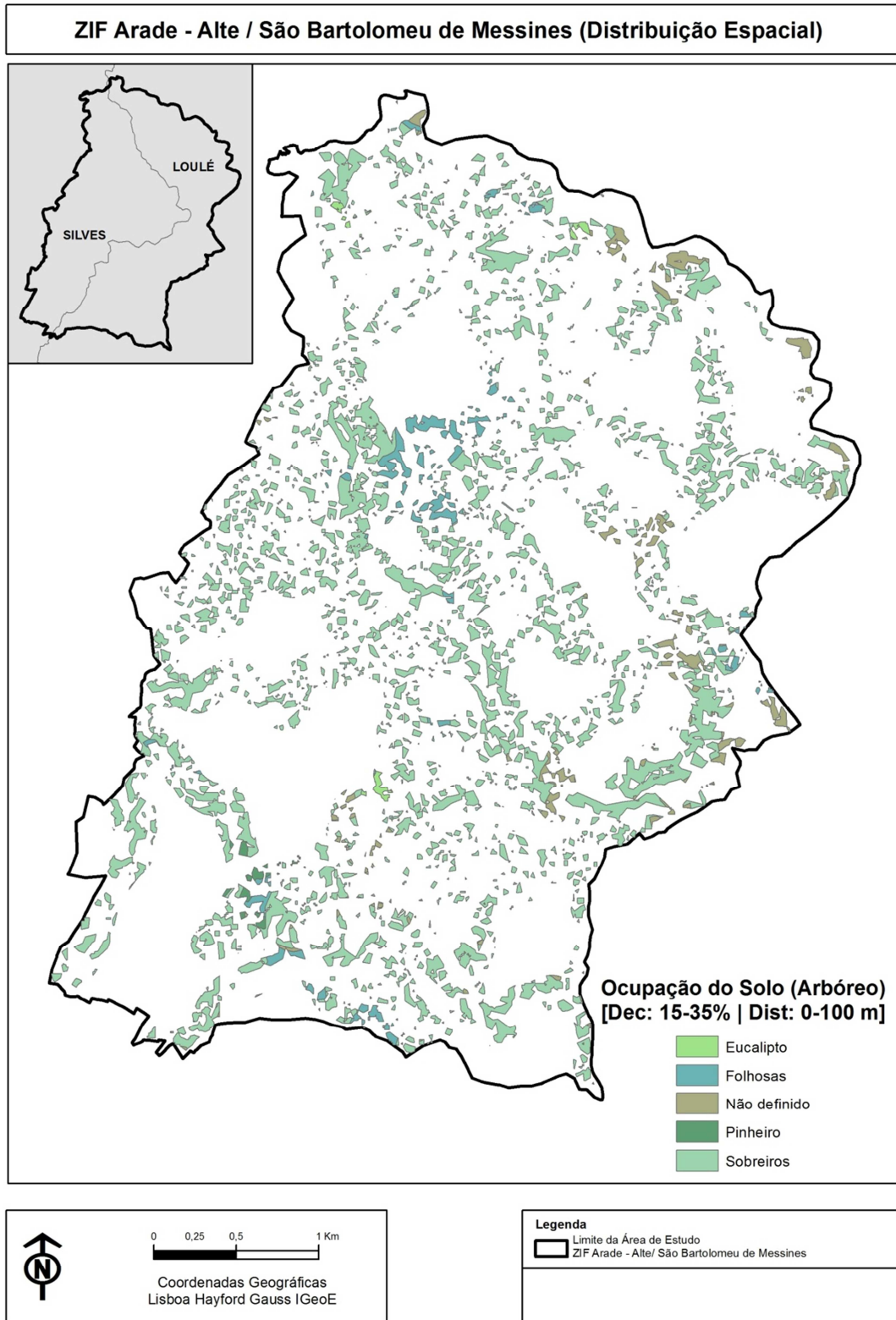


ZIF Arade - Alte / São Bartolomeu de Messines (Distribuição Espacial)

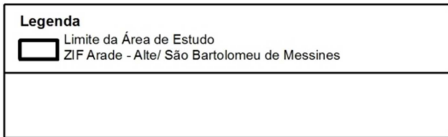
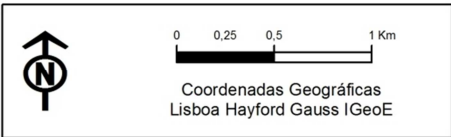
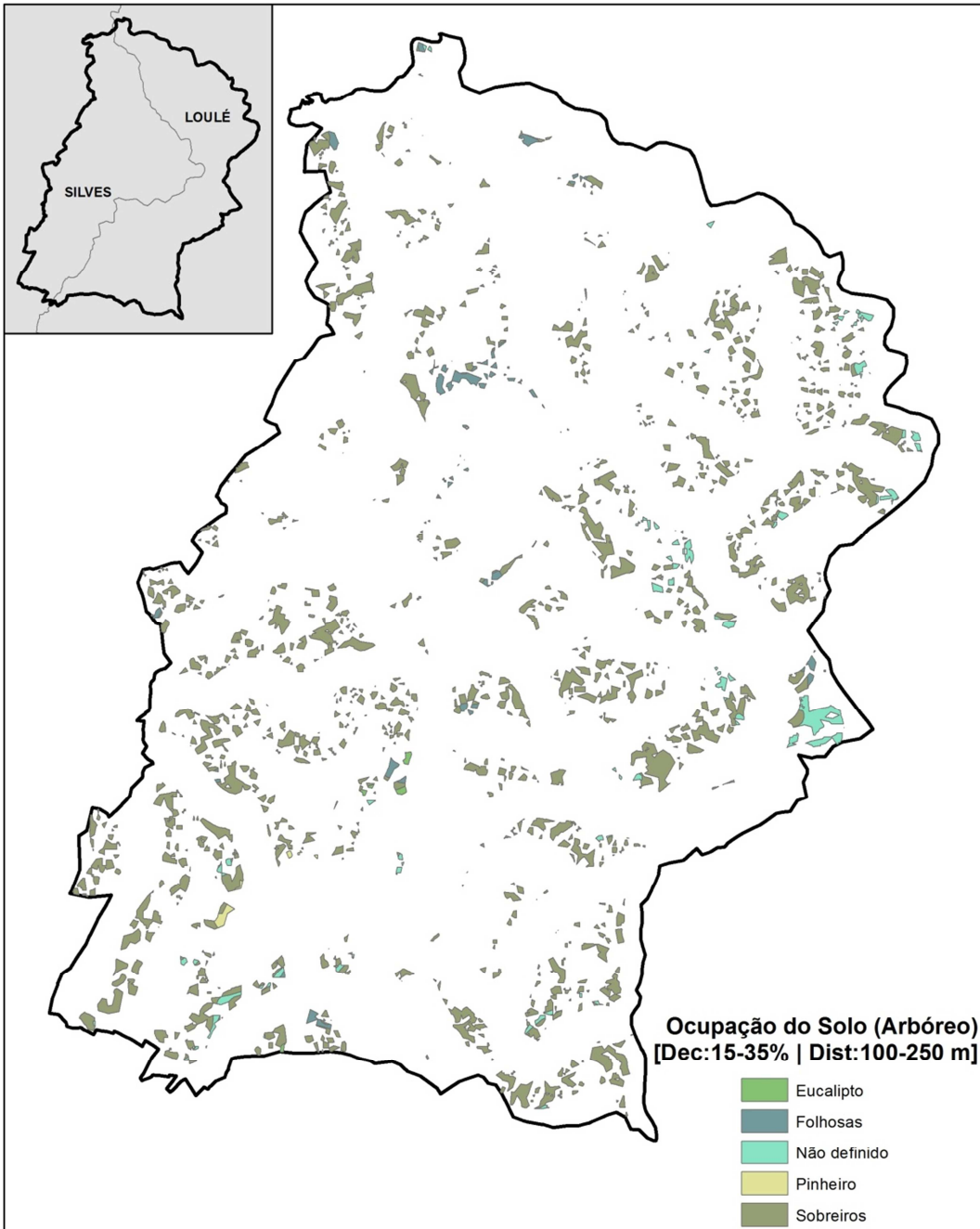


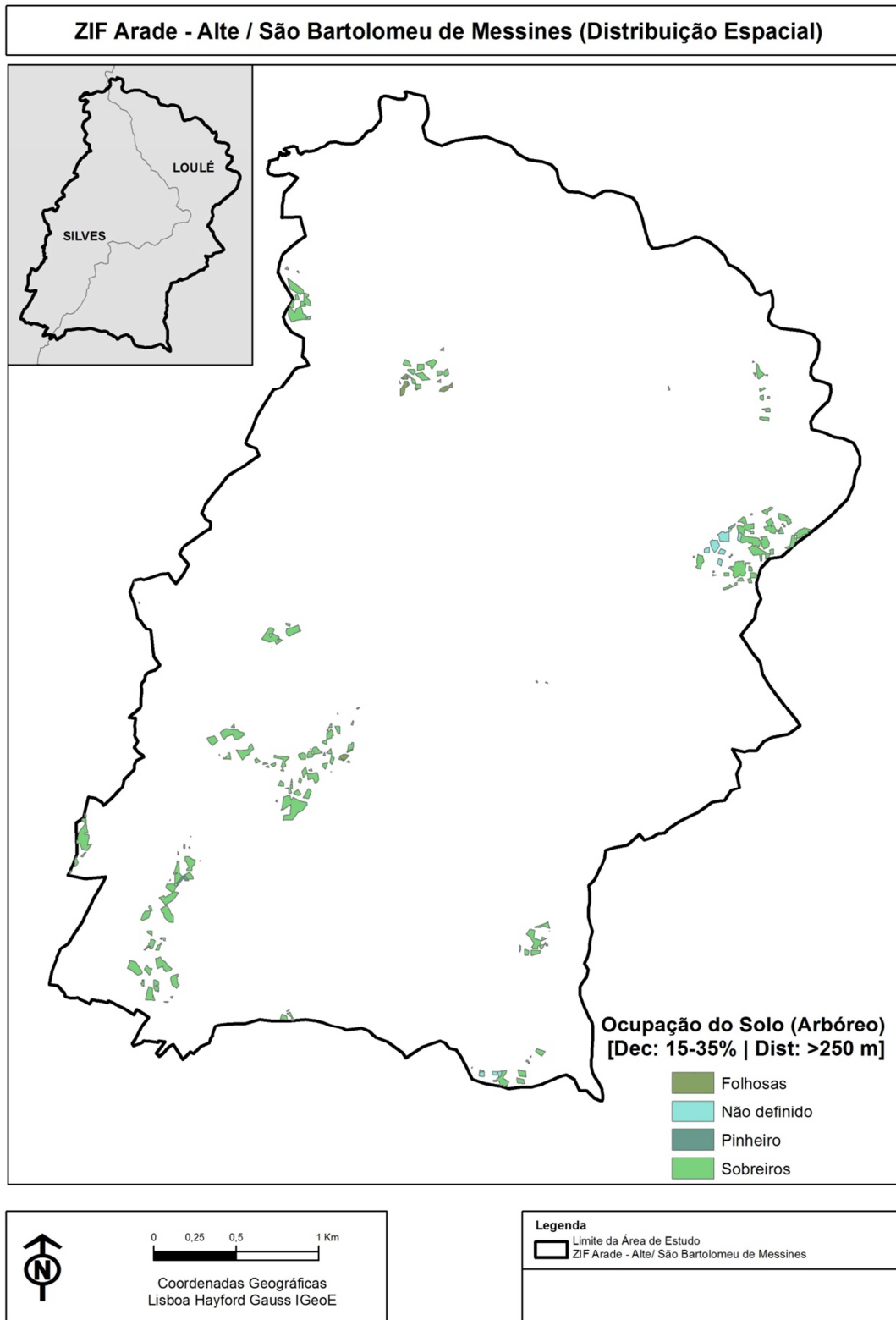
ZIF Arade - Alte / São Bartolomeu de Messines (Distribuição Espacial)



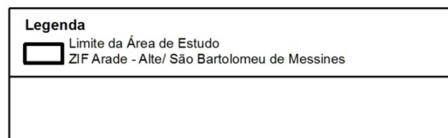
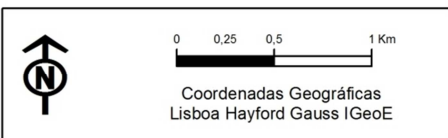
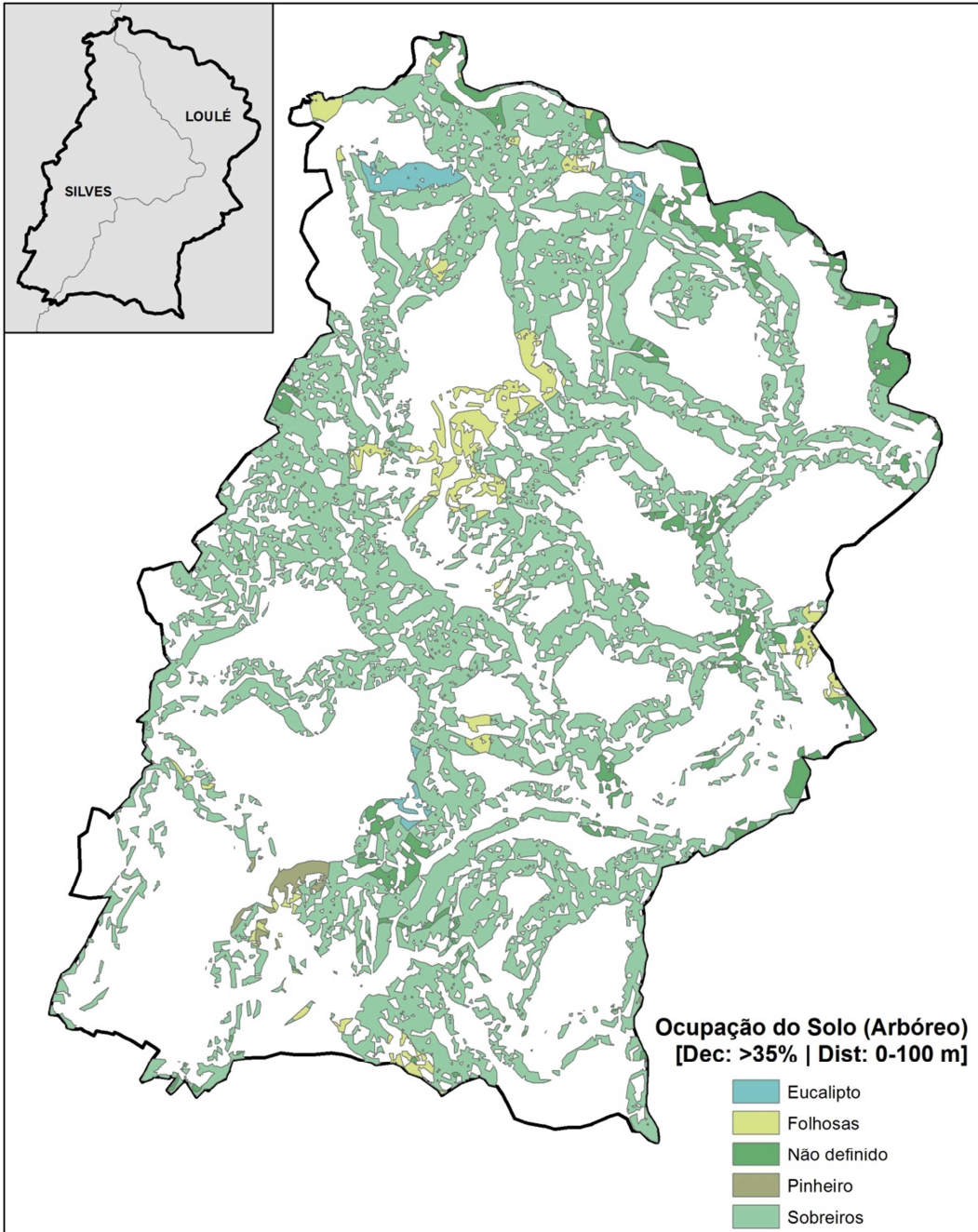


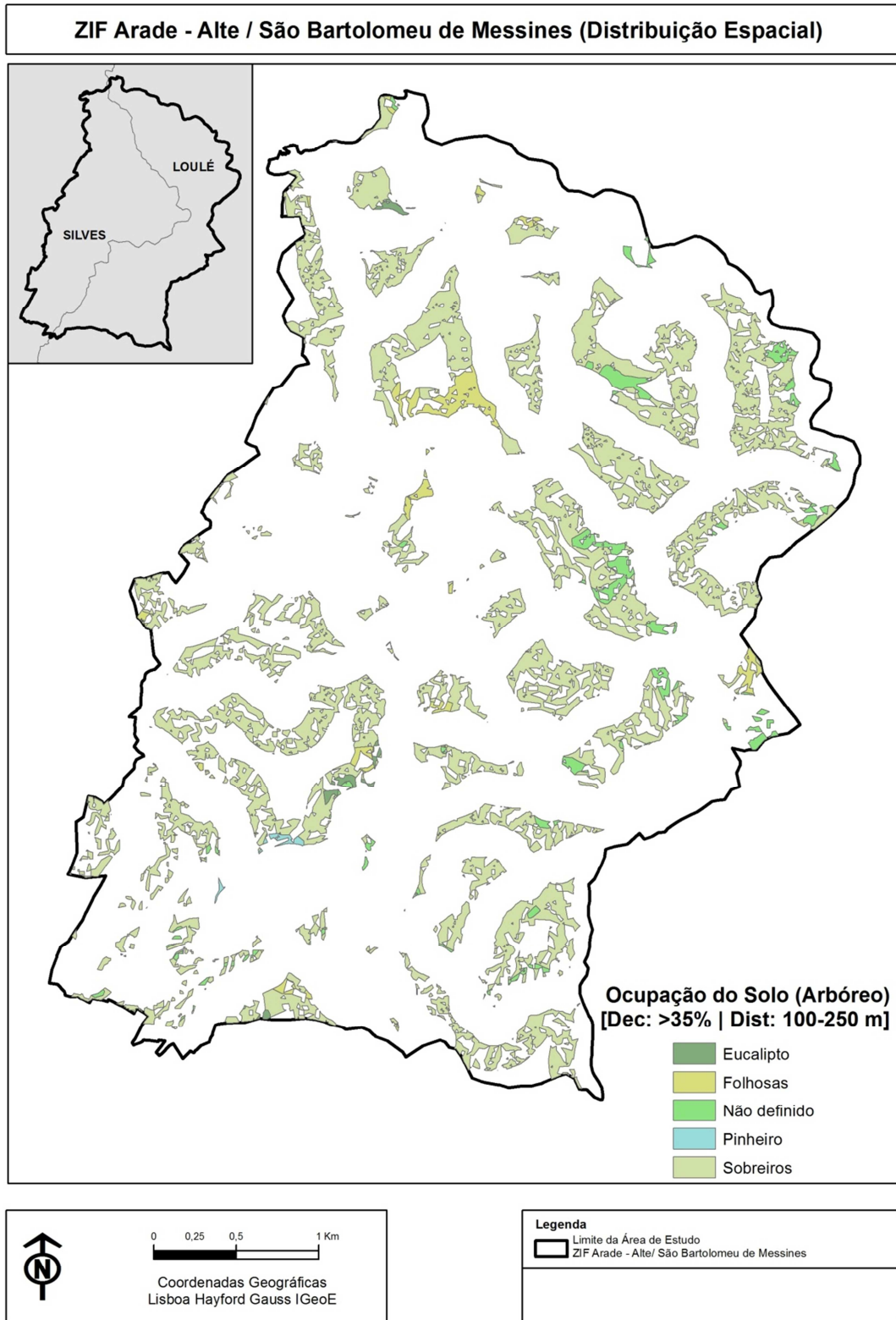
ZIF Arade - Alte / São Bartolomeu de Messines (Distribuição Espacial)

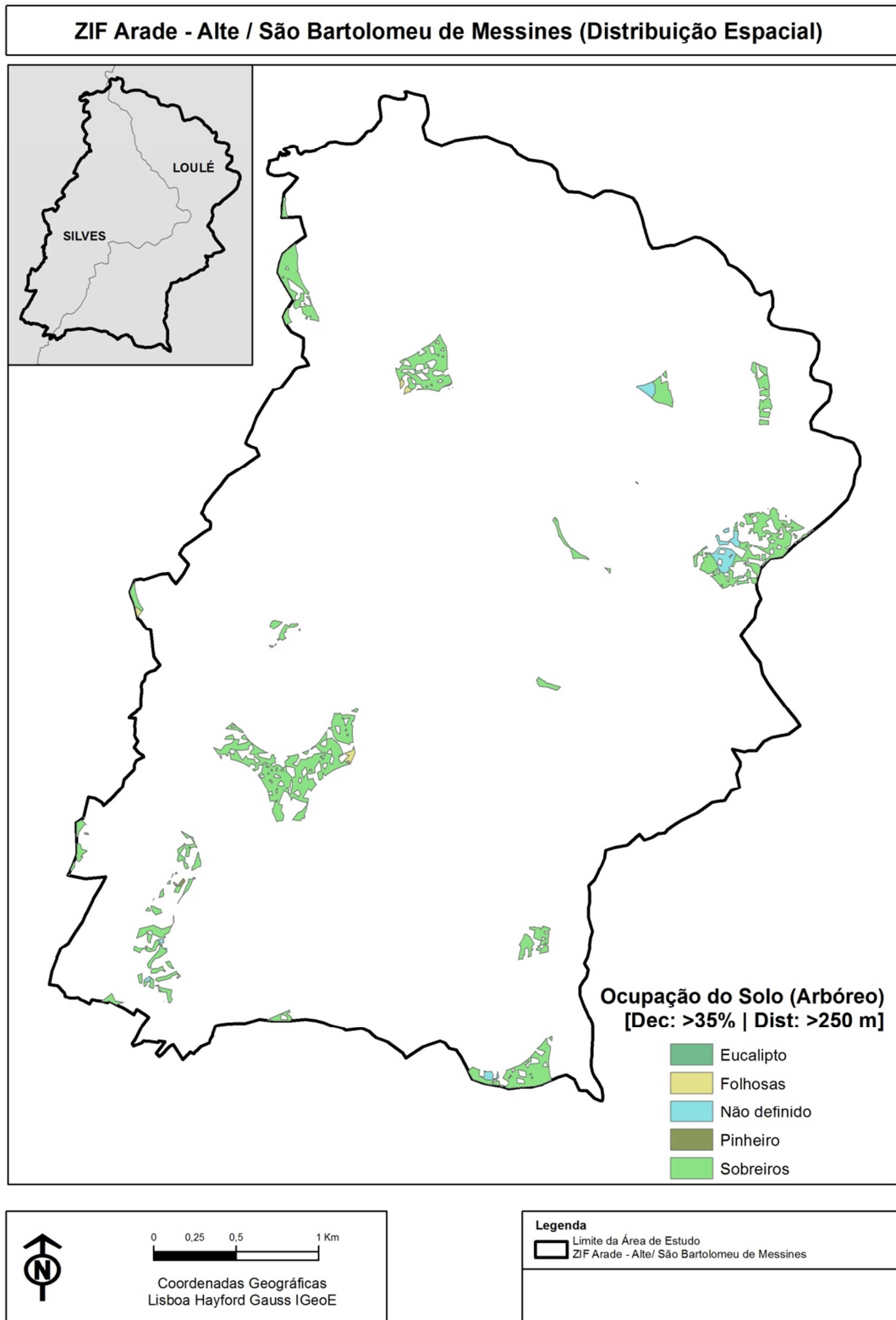


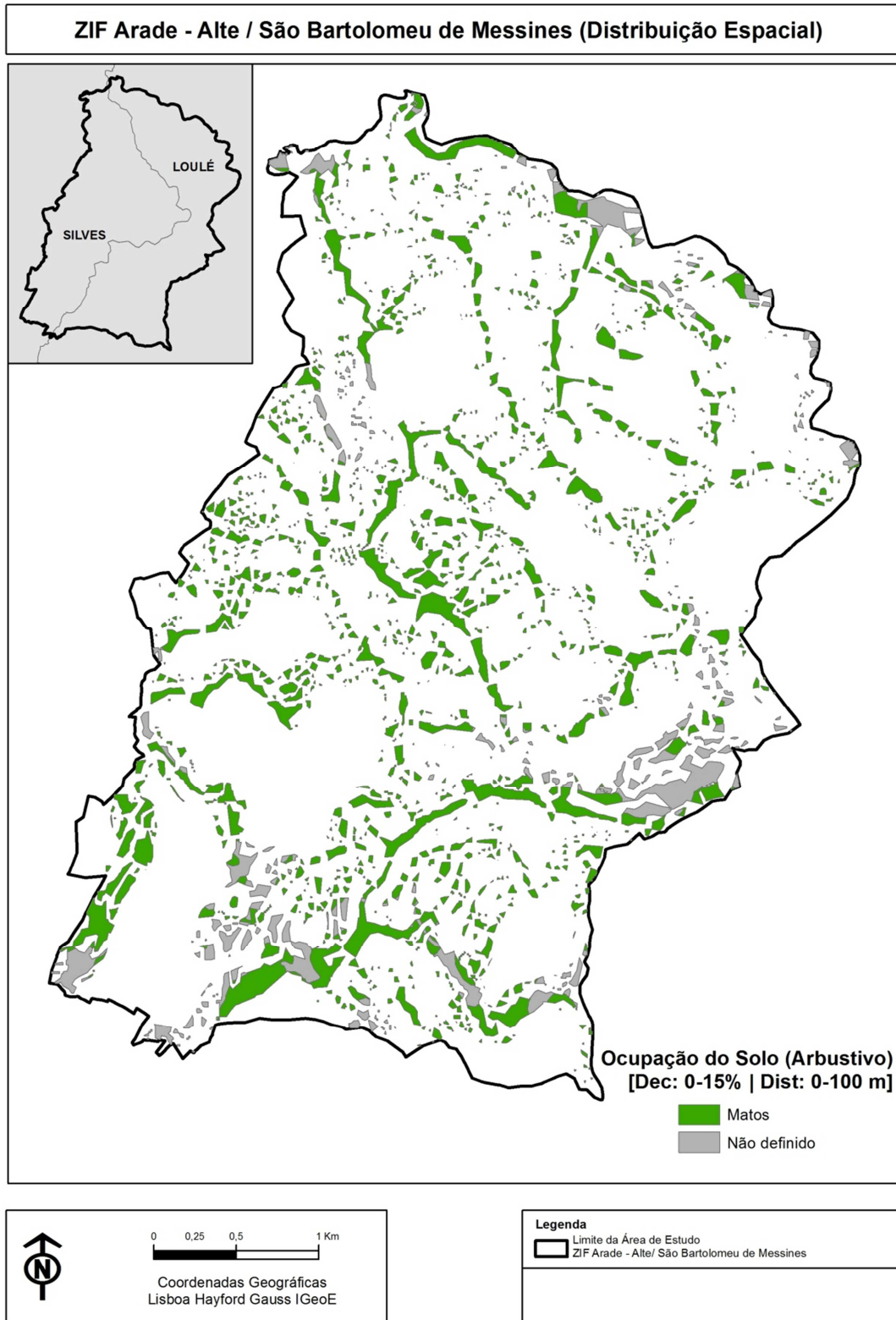


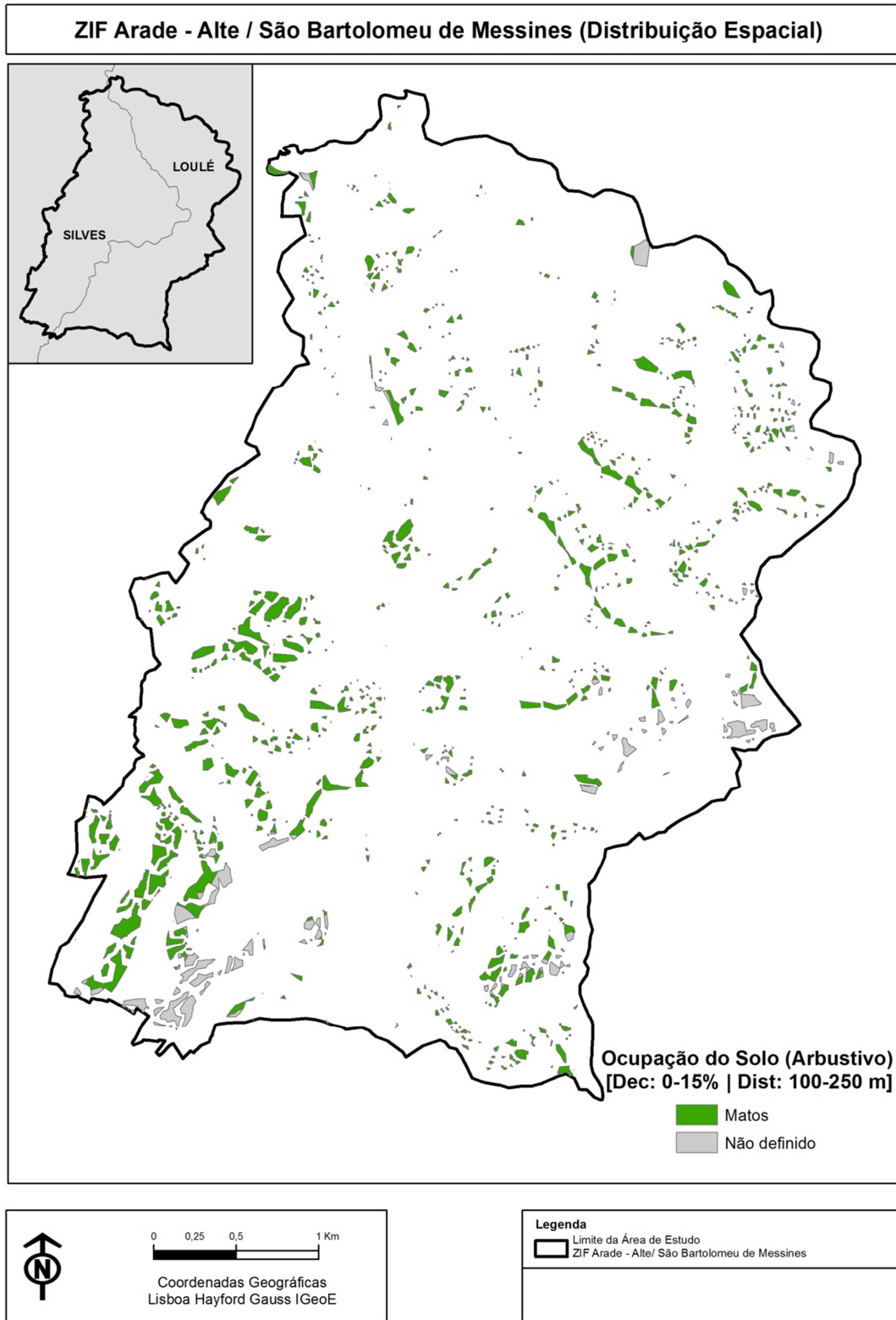
ZIF Arade - Alte / São Bartolomeu de Messines (Distribuição Espacial)

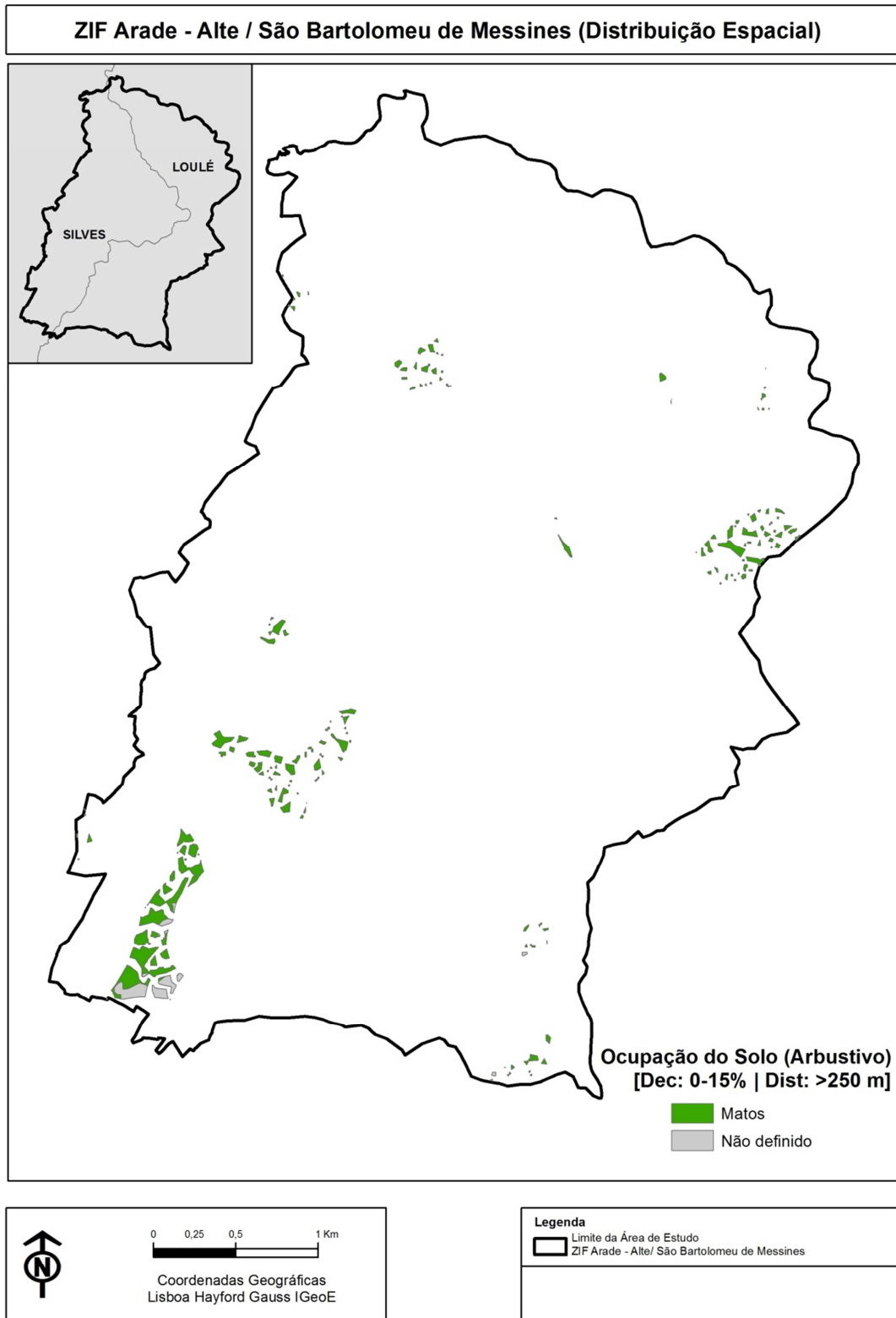




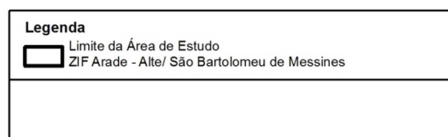
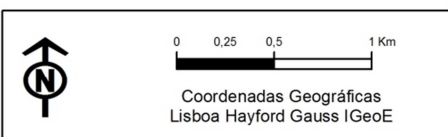
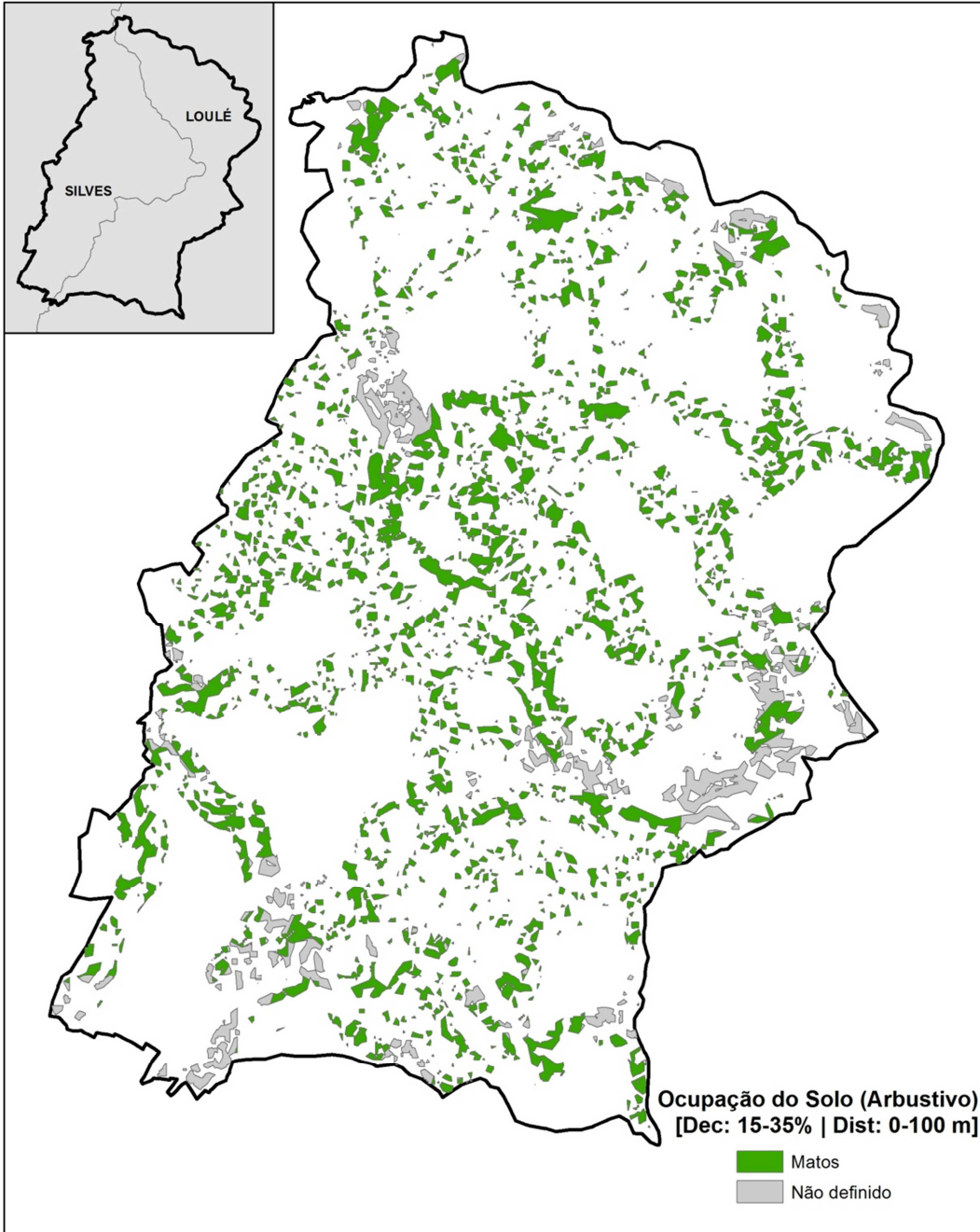




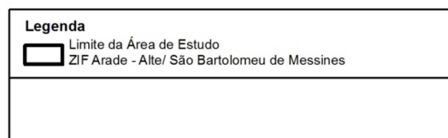
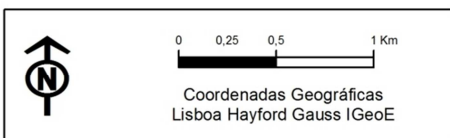
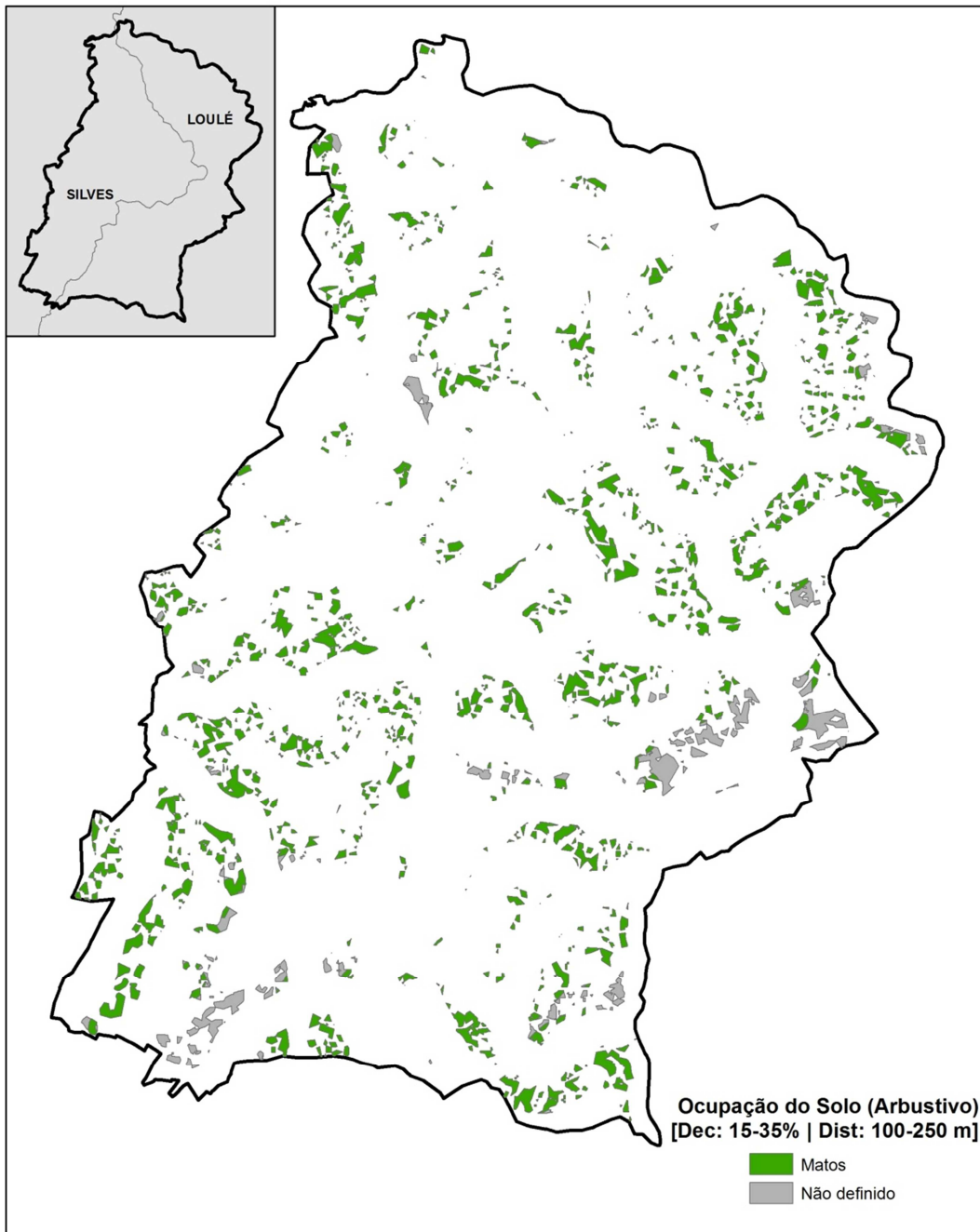


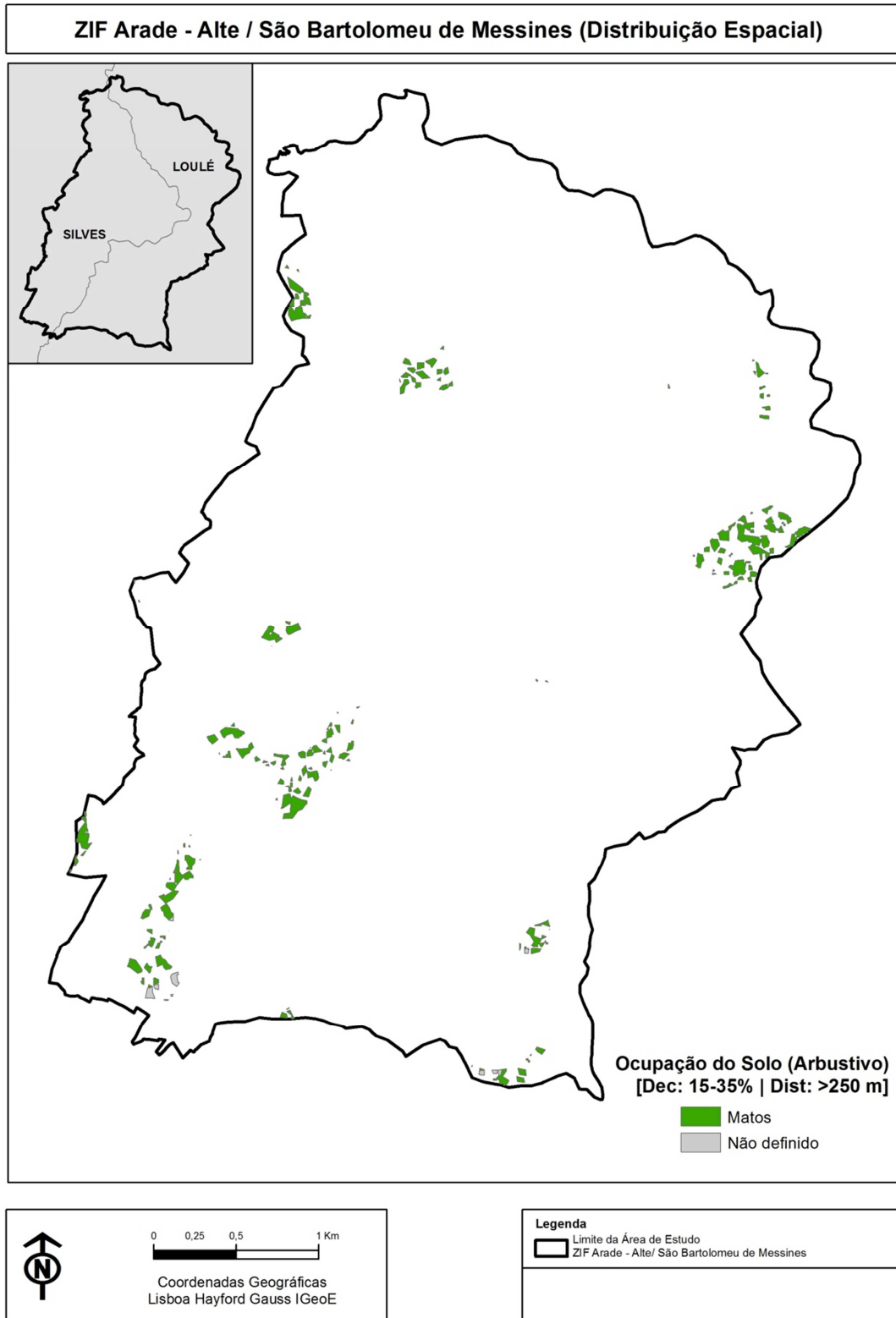


ZIF Arade - Alte / São Bartolomeu de Messines (Distribuição Espacial)

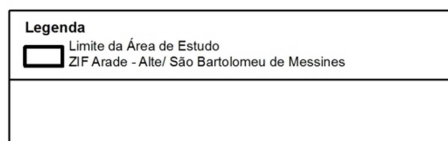
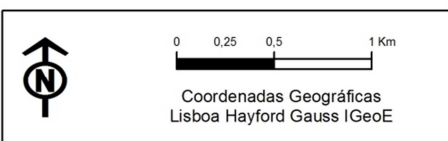
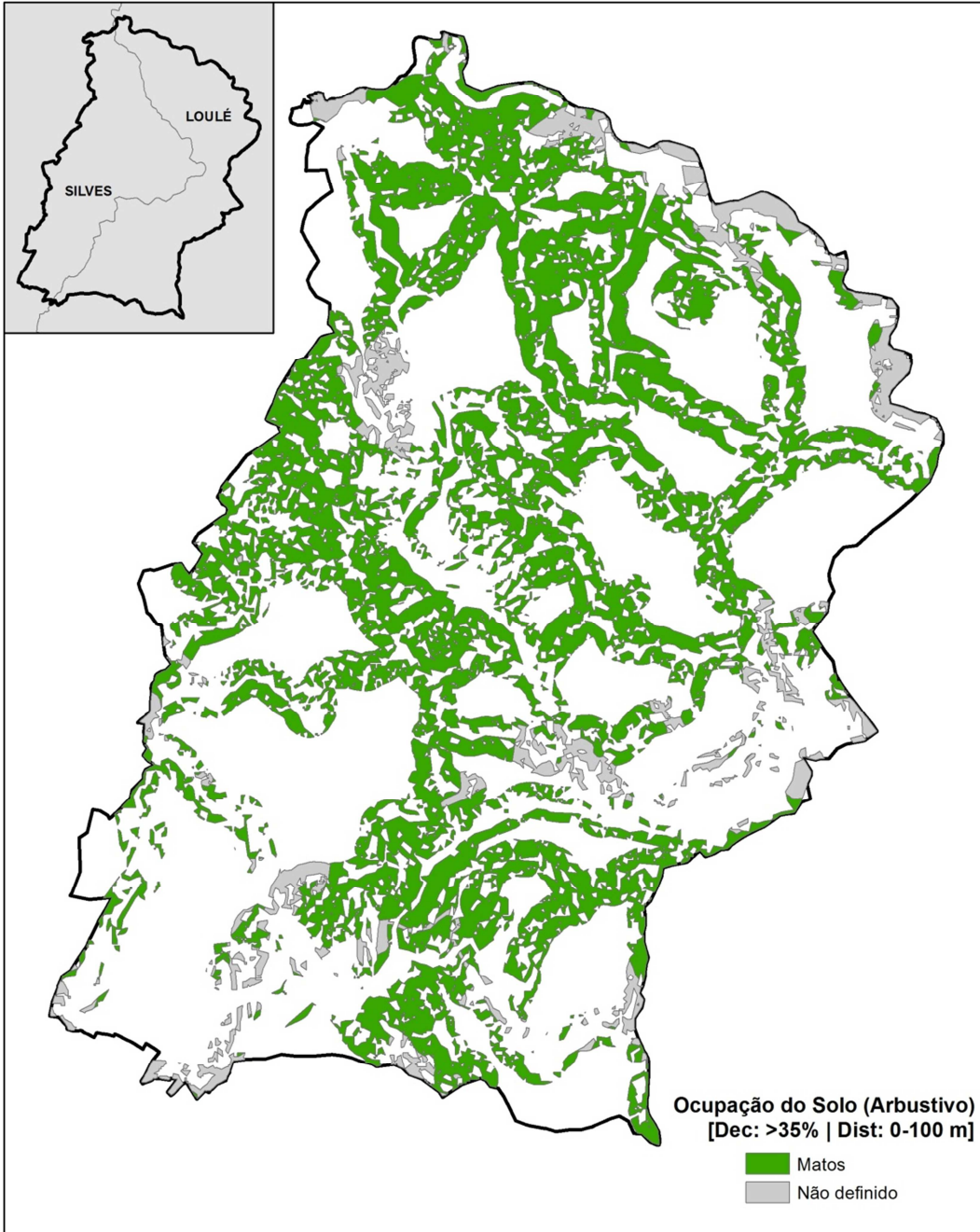


ZIF Arade - Alte / São Bartolomeu de Messines (Distribuição Espacial)

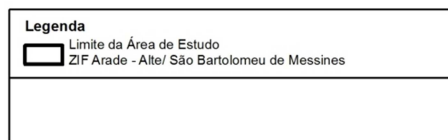
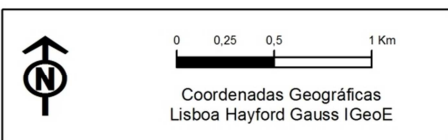
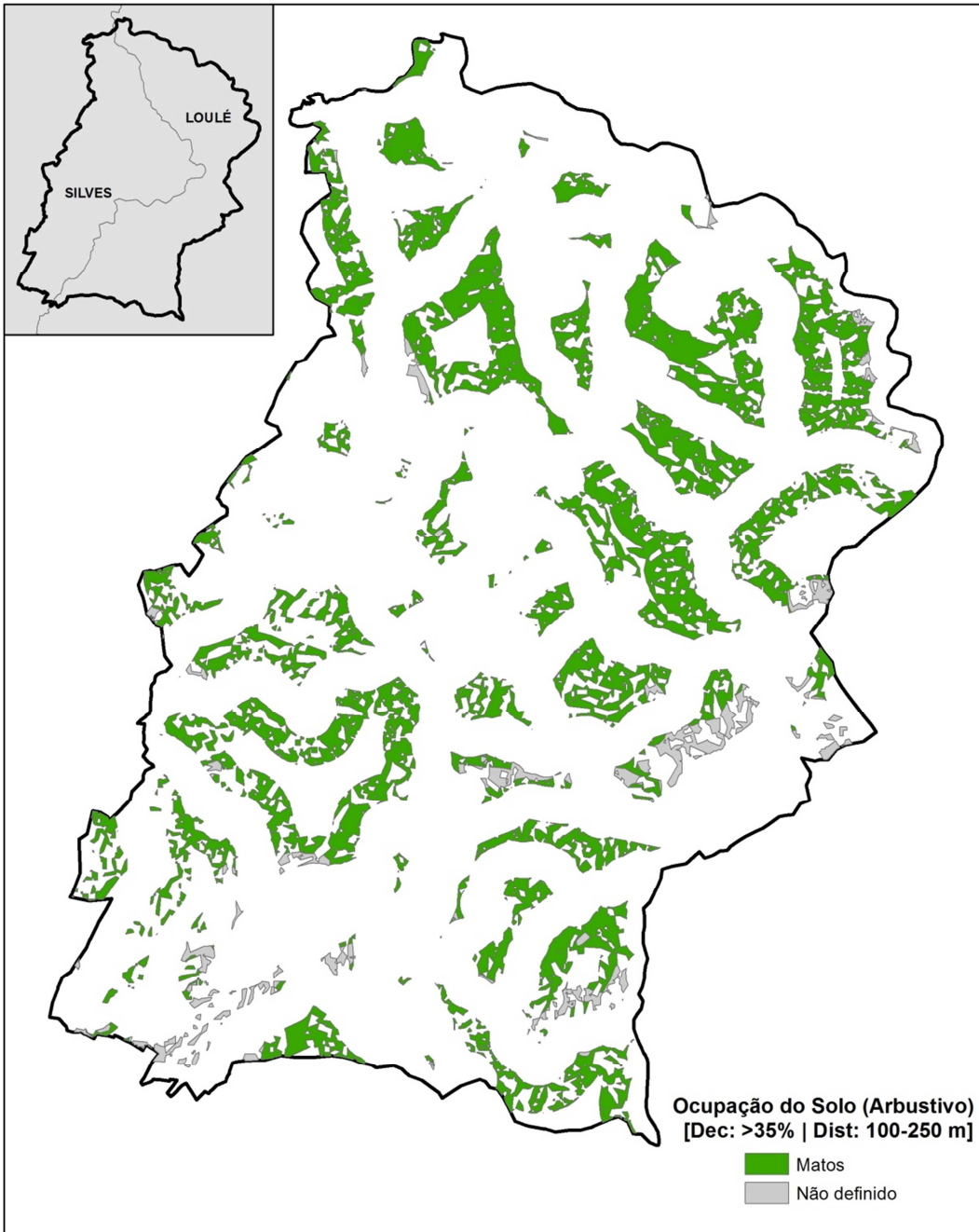


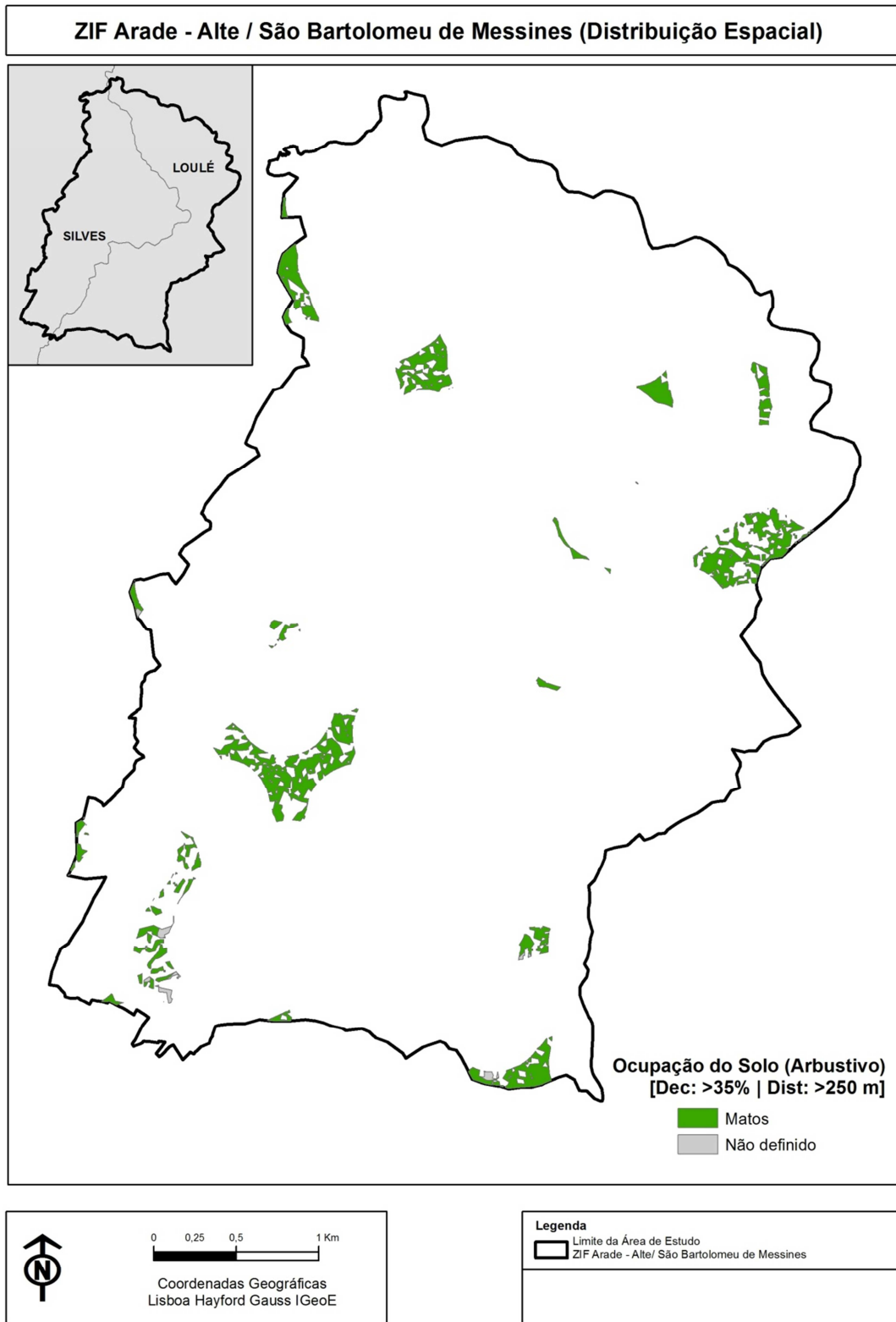


ZIF Arade - Alte / São Bartolomeu de Messines (Distribuição Espacial)



ZIF Arade - Alte / São Bartolomeu de Messines (Distribuição Espacial)





11. ANEXO II – FICHAS DE CAMPO UTILIZADAS

Ficha de Campo - Matos

Data ____/____/____

Equipa: _____

Código da parcela		
Estrato		
Coordenadas da Parcela	x	y

1) Caracterização fisiográfica e topográfica (ponto 2 Manual)

Tamanho da amostra (m ²) - <i>Corrigir raio em zonas de declive</i>	Formato da amostra	Altitude	Exposição	Inclinação	Situação fisiográfica	Acessibilidade	
						Com viatura	Sem viatura

Sub-Coberto – pag.14 manual

Utilização Agrícola		Pastagem Artificial		Pastagem natural	Matos			Herbáceas	Solo nú
Mobilização		Mobilização			Sem controlo	Controlo			
Pousio	Reduzida	Tradicional	Reduzida			Tradicional	Grade		

Pag.11- manual

Pág.10 – manual – fazer 1 em cada estrato

Coberto por espécie							
Classes de Altura(m)	Coberto total (%)	Coberto por Espécie					
		Espécie	%	Espécie	%	Espécie	%
>16							
de 8 a 16							
de 4 a <8							
de 2 a <4							
de 1 a <2							
0,5 a <1							
<0,5							

Riqueza Florestal	
Área Mínima	NºEspécies

Ficha de Campo - Árvores

Data ____/____/____

Equipa: _____

Código da parcela		
Estrato		
Coordenadas da Parcela	x	y

Caracterização da Parcela de amostragem

1) Caracterização fisiográfica e topográfica

Tamanho da amostra (m ²)- <i>Corrigir raio em zonas de declive</i>	Formato da amostra	Altitude	Exposição	Inclinação	Situação fisiográfica	Acessibilidade	
						Com viatura	Sem viatura

2) Aspectos físicos

Melhoramentos culturais recentes		
Desbaste	Desrama	Monda/Limpeza ou podas

Coberto por espécie						
Classes de Altura(m)	Coberto total (%)	Coberto por Espécie				
		Espécie	%	Espécie	%	Espécie
>16						
de 8 a 16						
de 4 a <8						
de 2 a <4						
de 1 a <2						
0,5 a <1						
<0,5						

Classificação etária						
Espécie	Apreciação da estrutura		Idade estimada	Fonte de Informação		
	Regular	Irregular		Baixa	Média	Alta

Condução do Povoamento														
Espécie	Regime cultural			Rotação				Natureza do corte			Origem do Povoamento		Resinagem	Tiragem de cortiça
	Alto fuste	Talhadia	Talhadia Mista	1º	2º	3º	Não defenida	Raso	Algumas árvores	%área cortada	Regener.	Plantação		

Árvores Menores											
Espécie:		Espécie:				Espécie:		Espécie:			
Localização Regeneração		Numero de indivíduos(d<7,5 e h>1,30)		Localização Regeneração		Numero de indivíduos(d<7,5 e h>1,30)		Localização Regeneração		Numero de indivíduos(d<7,5 e h>1,30)	
Não (debaixo das copas)	Sim(entre copas)			Não (debaixo das copas)	Sim(entre copas)			Não (debaixo das copas)	Sim(entre copas)		

**12. ANEXO III - AMOSTRAGEM ESTRATIFICADA
PROPORCIONAL**

M = número de estratos na população;

N = número de unidades de amostragem em que a população está dividida;

N_j = número de unidades de amostragem no estrato j

n = número de unidade de amostragem observadas na população;

n_j = número de unidades de amostragem observadas no estrato j

x_{ij} = grandeza x (volume, etc..) determinada na parcela i do estrato j

\bar{x}_j = média do estrato x no estrato j

\bar{x} = média de x na população

P_j = proporção do estrato j em relação à área total $\rightarrow P_j = \frac{N_j}{N}$

s^2_j = variância de x no estrato j

$s^2_{\bar{x}}$ = variância da média populacional

s^2_x = variância total de x

SE = erro de amostragem

1) Cálculo da média nos estratos:

$$\bar{X}_j = \frac{\sum^{n_j} x_{ij}}{n_j}$$

2) Média populacional

$$\bar{X} = \frac{\sum^M N_j \bar{X}_j}{N} = \sum^M P_j \bar{X}_j$$

3) Total na População:

$$X = \sum^M N_j \bar{X}_j = N\bar{X}$$

4) Variância por estrato:

$$s_j^2 = \frac{\sum^{n_j} (x_{ij})^2 - \frac{(\sum^{n_j} x_{ij})^2}{n_j}}{n_j - 1}$$

5) Percentagem de ocupação de cada estrato:

$$P_j = \frac{N_j}{N} = \frac{n_j}{n}$$

6) Variância média Populacional

$$s_{\bar{x}}^2 = \frac{\sum^M P_j s_j^2}{n}$$

7) Número total de parcelas a estabelecer na população, para um erro de amostragem desejado será:

$$n = \frac{t^2 \sum^M P_j s_j^2}{(SE)^2}$$

8) A distribuição das n parcelas pelos j estratos é feita proporcionalmente, de acordo com:

$$n_j = n P_j$$

9) Desvio Padrão:

$$s = \sqrt{s^2} = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x}_i)^2}{n-1}}$$

10) Coeficiente de variação:

$$CV(\%) = \frac{s}{\bar{x}} 100$$

11) Erro padrão:

$$s_{\bar{x}} = \sqrt{s^2 \bar{x}}$$

12) Erro Padrão percentagem Média:

$$s_{\bar{x}}(\%) = \frac{s_{\bar{x}}}{\bar{x}} 100$$

13) Erro Amostragem:

$$SE = \sqrt{s_{\bar{x}} t}$$

14) Intervalo de confiança

$$IC = \bar{x} \pm s_{\bar{x}} t$$

15) Erro amostragem em percentagem da média:

$$SE(\%) = \frac{SE}{\bar{x}} 100$$

O valor de t encontra-se na tabela abaixo descrita:

Tabela de t

Probabilidade

gl	.9	.8	.7	.6	.5	.4	.3	.2	.1	.05	.02	.01	.001
1	.158	.325	.510	.727	1.000	1.376	1.376	3.078	6.314	12.706	31.821	63.557	636.619
2	.142	.289	.445	.617	.816	1.061	1.386	1.886	2.920	4.303	6.965	9.925	31.598
3	.137	.277	.424	.584	.765	.978	1.250	1.638	2.353	3.182	4.541	5.841	12.941
4	.134	.271	.414	.569	.741	.941	1.190	1.533	2.132	2.776	3.747	4.604	8.610
5	.132	.267	.408	.559	.727	.920	1.156	1.476	2.015	2.571	3.365	4.032	6.859
6	.131	.265	.404	.553	.718	.906	1.134	1.440	1.943	2.447	3.143	3.707	5.959
7	.130	.263	.402	.549	.711	.896	1.119	1.415	1.895	2.365	2.998	3.499	5.405
8	.130	.262	.399	.546	.706	.889	1.108	1.397	1.860	2.306	2.896	3.355	5.041
9	.129	.261	.398	.543	.703	.883	1.100	1.383	1.833	2.262	2.821	3.250	4.781
10	.129	.260	.397	.542	.700	.879	1.093	1.372	1.812	2.228	2.764	3.169	4.587
11	.129	.260	.396	.540	.697	.876	1.088	1.363	1.796	2.201	2.718	3.106	4.437
12	.128	.259	.395	.539	.695	.873	1.083	1.356	1.782	2.179	2.681	3.055	4.318
13	.128	.259	.394	.538	.694	.870	1.079	1.350	1.771	2.160	2.650	3.012	4.221
14	.128	.258	.393	.537	.692	.868	1.076	1.345	1.761	2.145	2.624	2.977	4.140
15	.128	.258	.393	.536	.691	.866	1.074	1.341	1.753	2.131	2.602	2.947	4.073
16	.128	.258	.392	.535	.690	.865	1.071	1.337	1.746	2.120	2.583	2.921	4.015
17	.128	.257	.392	.534	.689	.863	1.069	1.333	1.740	2.110	2.567	2.898	3.965
18	.127	.257	.392	.534	.688	.862	1.067	1.330	1.734	2.101	2.552	2.878	3.922
19	.127	.257	.391	.533	.688	.861	1.066	1.328	1.729	2.093	2.539	2.861	3.883
20	.127	.257	.391	.533	.687	.860	1.064	1.325	1.725	2.086	2.528	2.845	3.850
21	.127	.257	.391	.532	.686	.859	1.063	1.323	1.721	2.080	2.518	2.831	3.819
22	.127	.256	.390	.532	.686	.858	1.061	1.321	1.717	2.074	2.508	2.819	3.792
23	.127	.256	.390	.532	.685	.858	1.060	1.319	1.714	2.069	2.500	2.807	3.767
24	.127	.256	.390	.531	.685	.857	1.059	1.318	1.711	2.064	2.492	2.797	3.745
25	.127	.256	.390	.531	.684	.856	1.058	1.316	1.708	2.060	2.485	2.787	3.725
26	.127	.256	.390	.531	.684	.856	1.058	1.315	1.706	2.056	2.479	2.779	3.707
27	.127	.256	.389	.531	.684	.855	1.057	1.314	1.703	2.052	2.473	2.771	3.690
28	.127	.256	.389	.530	.683	.855	1.056	1.313	1.701	2.046	2.467	2.763	3.674
29	.127	.256	.389	.530	.683	.854	1.055	1.311	1.699	2.045	2.462	2.756	3.659
30	.127	.256	.389	.530	.683	.854	1.055	1.310	1.697	2.042	2.457	2.750	3.646
40	.126	.255	.388	.529	.681	.851	1.050	1.303	1.684	2.021	2.423	2.704	3.551
60	.126	.254	.387	.527	.679	.848	1.046	1.296	1.671	2.000	2.390	2.660	3.460
120	.126	.254	.386	.526	.677	.845	1.041	1.289	1.658	1.980	2.358	2.617	3.373
∞	.126	.253	.385	.524	.674	.842	1.036	1.282	1.645	1.960	2.326	2.576	3.291