



isec
Engenharia

MESTRADO EM ENGENHARIA E
GESTÃO INDUSTRIAL

Implementação de uma Central de Biomassa

Autor

Francisca Rodrigues Machado

Orientador

Prof. Doutor Hugo David Nogueira Raposo

Prof. Doutor José Manuel Torres Farinha

Coimbra, 2021

DEFINITIVO

INSTITUTO POLITÉCNICO
DE COIMBRA

INSTITUTO SUPERIOR
DE ENGENHARIA
DE COIMBRA



isec

Engenharia

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA QUÍMICA E
BIOLÓGICA

Implementação de uma Central de Biomassa

Relatório de Trabalho de Projeto para a obtenção do grau de
Mestre em Engenharia e Gestão Industrial

Autor

Francisca Rodrigues Machado

Orientador

Prof. Doutor Hugo David Nogueira Raposo

Co-Orientador

Prof. Doutor José Manuel Torres Farinha

Coimbra, 2021

INSTITUTO
POLITÉCNICO DE
COIMBRA

INSTITUTO SUPERIOR
DE ENGENHARIA

Agradecimentos

Ao longo desta jornada recebi o contributo de várias pessoas sem as quais não teria conseguido chegar ao fim. Assim, gostaria de demonstrar a minha gratidão e reconhecimento a todos aqueles que direta ou indiretamente acompanharam nesta etapa, salientando:

Ao Professor Doutor José Manuel Torres Farinha e ao Professor Doutor Hugo David Nogueira Raposo pela oportunidade e incentivo, pelas críticas construtivas que ajudaram sublimar o teor deste projeto, pelo rigor, pela amizade, simpatia e permanente disponibilidade manifestada durante a realização deste projeto.

Aos meus colegas de mestrado Patrícia Oliveira e Francisco Ribeiro que me acompanharam ao longo destes últimos anos, por todos os momentos, palavras de apoio, amizade e companheirismo. Devo-vos um enorme obrigada do fundo do coração!

À Diana Fernandes e à Rita Carvalho um enorme obrigada! Tem sido um grande apoio, e agradeço por acreditarem nas minhas capacidades, por estarem sempre disponíveis para me ouvirem e aconselhar.

Por último, mas não menos importante, aos meus pais, irmão e cunhada por terem sempre acreditado em mim e nas minhas capacidades. Sem vocês eu hoje não estaria aqui, deram sempre força nas alturas mais complicadas. O vosso apoio, dedicação e carinho foi fulcral para ter concluído este projeto. Obrigada por todos os ensinamentos que me passar na vida. O meu enorme obrigada!

Resumo

A nível europeu a biomassa e os resíduos representam cerca de dois terços do consumo de energias e apresenta um crescimento do mercado. Em Portugal este crescimento pode também ser verificado pela vertente da prevenção de incêndios e de uma boa gestão e manutenção florestal. Neste contexto o trabalho tem como objetivo o estudo da viabilidade de implementar uma central de cogeração de biomassa. A metodologia segue uma abordagem da caracterização do local de implementação, do potencial da zona envolvente que sustenta o seu funcionamento. É realizada uma breve análise económica, tendo esta por base três operações fundamentais. Conclui-se ainda que existirá diversos constrangimentos quer ambientais, quer económicos, pois o projeto não demonstra na plenitude a sua viabilidade e/ou criação de valor, sendo tido possível obter alguma sustentação através de um caso de estudo.

Palavras-chave: Biomassa; Potencial de biomassa; Análise económica; Transporte.

Abstract

At European level, biomass and waste account for about two thirds of energy consumption and market growth. In Portugal this growth can also be verified by the fire prevention and good forest management and maintenance. In this context, the work aims to study the feasibility of implementing a biomass cogeneration plant. The methodology follows an approach to the characterization of the place of implementation, the potential of the surrounding area that sustains its operation. A brief economic analysis is carried out, based on three key operations. It is also concluded that there will be several environmental and economic constraints, because the project does not fully demonstrate its feasibility and/or the creation of a ditch, and it is possible to obtain some support through a case study.

Key words: Biomass; Biomass Potential; Economic analysis; Transport

Índice

Agradecimentos.....	2
Resumo.....	3
Abstract.....	4
Índice.....	5
Índice de Figuras	7
Índice de Tabelas	9
1. Introdução.....	12
1.1 Enquadramento e Motivação	12
1.2 Projeto.....	13
1.3 Estrutura do Relatório.....	14
2. Enquadramento teórico.....	16
2.1 Definições.....	16
2.2 Política Energética de Portugal	16
2.3 A Biomassa	20
2.3.1 A transformação da biomassa	20
2.3.2 Vantagens e desvantagens da utilização da biomassa	21
2.4 Potencial em biomassa.....	22
2.5 Logística e transporte na área da biomassa.....	25
3. Metodologias	27
3.1 Caracterização da área de estudo	27
3.1.1 Localização da Central e suas áreas de abastecimento.....	27
3.2 Método e técnica.....	29
3.3 Análise Quantitativa.....	31
3.3.1 Equações de Biomassa.....	31
3.3.2 Modelos de Silvicultura	34
3.4 Análise económica.....	38
4. Caso de Estudo.....	40
4.1 Caracterização do projeto.....	40
4.1.1 Configuração Geral da CTBF.....	40
4.1.2 Cronograma do projeto	40
4.2 Contas de Exploração.....	41
4.2.1 Produção de Energia Elétrica	41
4.2.2 Proveitos de Exploração	42

4.2.3 Custos de Exploração	42
4.2.3.1 Custos de consumos diretos.....	43
4.2.3.2 Custos com pessoal	43
4.2.3.3 Custos de Estrutura.....	44
4.3 Análise de Sensibilidade.....	44
4.4 Análise de Mercado Regional de Biomassa Florestal	47
4.4.1 Rendimento da biomassa na Região.....	47
4.4.2 Principais operadores do Sector na Região	49
5. Opções Tecnológicas.....	51
5.1 Motores de combustão interna	51
5.2 Motores de combustão externa – Motores Stirling	51
5.2.1 Tipos de Motores Stirling	52
5.3 Propostas de soluções	54
6. Resultados e Limitações	58
7. Conclusões e Trabalho Futuro.....	60
8. Referências Bibliográficas.....	62

Índice de Figuras

Figura 1 - Sobrantes de biomassa resultante do desmantelamento de uma área florestal	13
Figura 2 - Abandono de resíduos florestais de particulares	14
Figura 3 - Evolução das emissões de GEE (Mt CO ₂ eq) [Fonte: [16]]	17
Figura 4 - Evolução da quota de energia de fontes renováveis no consumo final bruto [Fonte: [16]]	18
Figura 5 - Evolução da quota de energia de fontes renováveis na eletricidade [Fonte: [16]]	19
Figura 6 - Evolução da quota de energia de fontes renováveis no aquecimento e arrefecimento [Fonte: [16]]	19
Figura 7 - Evolução da quota de energia de fontes renováveis nos transportes [Fonte: [16]]	19
Figura 8 – Mapa de uso e ocupação de solo do concelho Miranda do corvo [Fonte: [39]]	23
Figura 9 - Mapa de povoamentos florestais do concelho Miranda do corvo [Fonte: [39]]	23
<i>Figura 10 - Mapa do uso e ocupação de solo do concelho de Penela [Fonte: [40]]</i>	<i>24</i>
Figura 11 - Mapa dos povoamentos florestais do concelho de Penela [Fonte: [40]]	25
Figura 12 - Área de estudo e zona envolvente	27
Figura 13 - Mapa de faixas de gestão combustíveis [Fonte: [39]]	28
Figura 14 - Buffer de 15km para abastecimento da central	29
Figura 15 - Esquema Simplificado da Central de Biomassa	30
Figura 16 - Exemplo do processo da central [43]	31
Figura 17 - Representatividade dos custos das operações no custo total, num raio de 10 Km	39

Figura 18 - Representatividade dos custos das operações no custo total, num raio 15 Km.....	39
Figura 19 - Representação esquemática do motor Stirling tipo alfa [Fonte:[51]]	53
Figura 20 - Representação esquemática do motor Stirling tipo beta [Fonte: [51]]	53
Figura 21 - Representação esquemática do motor Stirling tipo Gama [Fonte: [51]]	54
Figura 22 - Exemplo Esquemático de opção tecnológica - substituição direta.	54
Figura 23 – Exemplo Esquemático de opção tecnológica – agregação de motor stirling.....	55
Figura 24 - Valores Teóricos de eficiência máxima	56

Índice de Tabelas

Tabela 1 - Equações utilizadas na estimação da biomassa - Pinheiro Bravo e outras resinosas. [Fonte: [47]]	32
Tabela 2 - Equações utilizadas na estimação da biomassa - Eucalipto ssp. [Fonte: [47]]	32
Tabela 3 - Equações utilizadas na estimação da biomassa - Carvalhos e outras folhosas. [Fonte: [47]]	32
Tabela 4 - Equações utilizadas na estimação da biomassa - Castanheiro e acácias. [Fonte: [47]]	33
Tabela 5 - Modelo de Silvicultura do Eucalipto comum. [Fonte: [45]]	34
Tabela 6 - Modelo de Silvicultura do Pinheiro-Bravo. [Fonte: [45]]	35
Tabela 7 - Modelo de Silvicultura do Carvalho. [Fonte: [45]]	36
Tabela 8 - Modelo de Silvicultura do Castanheiro. [Fonte: [45]]	36
Tabela 9 - Resumo dos custos de transporte primário, trituração e transporte secundário.....	38
Tabela 10 - Potência Total a Instalar e Potência a Injetar no Ponto de Receção [Fonte: [48]]	40
Tabela 11 - Horas de Operação [Fonte: [48]]	41
Tabela 12 - Produção de Energia Elétrica [Fonte: [48]]	42
Tabela 13 - Volume de Negócios [Fonte: [48]]	42
Tabela 14 - Quadro de Pessoal [Fonte: [48]]	43
Tabela 15 - Custos com o Pessoal [Fonte: [48]].....	43
Tabela 16 - Custos de Estrutura [Fonte: [48]]	44
Tabela 17 - Elasticidade do VAL ao Valor do Investimento em Imobilizado Corpóreo [Fonte: [48]]	45

Tabela 18 - Elasticidade do VAL ao Valor do Investimento em Imobilizado Corpóreo [Fonte: [48]]	45
Tabela 19 - Elasticidade do VAL ao Valor da Produção Elétrica Bruta [Fonte: [48]]	45
Tabela 20 - Elasticidade do VAL à Tarifa de Venda da Energia Elétrica [Fonte: [48]]	46
Tabela 21 - Elasticidade do VAL ao Preço da Biomassa [Fonte: [48]]	46
Tabela 22 - Matriz de Segmento de Mercado de Biomassa Florestal [Fonte: [48]]	47
Tabela 23 - Volume por Espécie na Região de Coimbra [Fonte: [47]]	48
Tabela 24 - Biomassa por Espécie na Região de Coimbra [Fonte: [47]]	49
Tabela 25 - Resumo de tecnologias e suas eficiências	56

Abreviaturas

BFP – Biomassa Florestal Primária

BFR – Biomassa Florestal Residual

CTBF – Centrais Termoelétricas a Biomassa Florestal

DAP – Diâmetro à altura do peito

FSE – Fornecimento de Serviços Externos

GEE – Gases com efeito de estufa

GTF – Gabinete Técnico Florestal

ICNF – Instituto da Conservação da Natureza e das Florestas

IFN6 – 6º Inventário Nacional Florestal

kW – Quilo Watt

kW el – Quilo Watt elétrico

kW te – Quilo Watt térmico

MW – Mega Watt

PDMFCI – Plano Municipal Defesa Floresta Contra Incêndios

P.P. – Ponto Percentual

SIG – Sistema de Informação Geográfica

UE – União Europeia

TIR – Taxa Interna de Rentabilidade

VAL – Valor Atual Líquido

1. Introdução

Este relatório foi desenvolvido no âmbito do Mestrado em Engenharia e Gestão Industrial do Instituto Superior de Engenharia de Coimbra, descrevendo os desenvolvimentos levados a efeito pela autora ao longo do projeto, os resultados obtidos e propostas de trabalho futuro a ser realizado.

1.1 Enquadramento e Motivação

A biomassa e os resíduos representam cerca de dois terços de todo o consumo de energias na União Europeia. Em Portugal a biomassa é, essencialmente, utilizada na indústria da pasta de papel; existe um enorme potencial para a biomassa em Portugal, o qual está estimado por diversos setores do país em 42.489 gigawatts/hora por ano.

Na vertente da prevenção de incêndios, passa também pela valorização económica da floresta - a biomassa é uma parte importante nessa estratégia de valorização. O precedente implica criar a logística adequada para a sua recolha e inserção na cadeia de valor.

A solução para a de-fossilização da sociedade passa por um conjunto de medidas, desde uma forte componente de eficiência energética, até à utilização de todas as energias renováveis disponíveis, tendo, naturalmente, a biomassa, em geral, e as centrais de biomassa existentes e planeadas, um papel muito importante” [44].

O ser humano, nos dias a que decorrem, para que a sua permanência na vida continue, tem de saber adaptar e redefinir as suas prioridades; por vezes, esta redefinição cria situações de conflitos internos ou externos oriundos das escolhas.

A escolha de um projeto de mestrado não foge a esta regra; porém, a oportunidade de estudar a implementação de uma central de biomassa, dá a possibilidade de contribuir para uma melhor qualidade de vida, para um mundo mais sustentável. Certo que a sua implementação traz impactos ambientais, mas se os benefícios que irão ser retirados da mesma se irão ou não sobrepor a esses impactos.

A motivação adicional para este projeto, advém de um contacto direto da autora com os sobrantes florestais, após limpezas de manutenção de áreas florestais na prevenção dos incêndios florestais, bem como da exploração da indústria da madeira e da falta de soluções simples e eficazes para dar resposta a esta problemática.

1.2 Projeto

Este projeto tem como objetivo estudar a viabilidade de implementar uma central de cogeração de biomassa, na zona centro. Esta necessidade advém do aglomerado de sobrantes (Figura 1) da atividade de exploração florestal e da manutenção florestal de particulares, a que, por lei, estão obrigados a fazer. Esta implementação visa dar resposta a uma necessidade já sentida há algum tempo, podendo dar uma finalidade de valor acrescentado a algo que, numa primeira avaliação, não serve para nada ou não apresenta valor.



Figura 1 - Sobrantes de biomassa resultante do desmantelamento de uma área florestal

É de extrema importância encontrar uma solução para o exposto, visto que, com regularidade, existe cada vez mais biomassa abandonada nas propriedades, incluindo a existência de zonas de pilhas de biomassa; é necessário atuar com alguma urgência e dar resposta às dificuldades dos proprietários (Figura 2) e, até mesmo, de algumas associações florestais que têm a seu encargo a limpeza de áreas florestais, mas depois sentem dificuldades na destruição da biomassa que geram; essas dificuldades são geradas pela falta de maquinaria ou pela falta de financiamento, para poder solucionar o problema. A implementação da referida central de cogeração de biomassa pode, e será certamente, mais uma motivação para a manutenção da floresta, para a prevenção dos incêndios florestais e para a promoção da reflorestação de zonas abandonadas.



Figura 2 - Abandono de resíduos florestais de particulares

É necessário enquadrar o projeto na realidade portuguesa, mas ainda mais na realidade da qualidade zona em estudo, assim como fundamentar as razões do investimento e possíveis ganhos quer a nível florestal, como na área das energias renováveis. Portugal apresenta um vasto terreno florestal e até mesmo agrícola, só para a superfície agrícola 3 740 143 hectares, e para matos e floresta cerca de 837 067 hectares [35].

1.3 Estrutura do Relatório

Este relatório está estruturado em seis capítulos, com várias secções:

- No primeiro capítulo é apresentado todo o enquadramento e motivação, bem como os objetivos do projeto e a estrutura do mesmo.
- No segundo capítulo é feito o enquadramento teórico, para o qual contribuem diversas referências bibliográficas relativas ao tema de implementação de uma central de biomassa.

- No terceiro capítulo é apresentada toda a metodologia do projeto, desde a caracterização da área de estudo, método e técnica da implementação da central, definição de todo o transporte da matéria-prima.
- No quarto capítulo é explanado um caso de estudo por forma a valorizar e viabilizar a importância deste projeto.
- No quinto capítulo é apresentada possíveis opções tecnológica que pode diferenciar este projeto de tantos outros.
- No sexto capítulo são feitas uma apresentação de resultados e as limitações sentidas.
- No sétimo capítulo é feita apresentação das conclusões e do trabalho futuro.
- Finalmente são apresentadas todas as referências bibliográficas de suporte ao projeto.

2. Enquadramento teórico

2.1 Definições

Para uma maior compreensão do trabalho desenvolvido, é importante ser detentor de alguns conceitos chaves. Segundo o decreto-lei 117/2010 de 25 outubro, [50], que transpõe a diretiva 2009/28/CE, a biomassa é a fração biodegradável de produtos, resíduos ou detritos de origem biológica provenientes de agricultura, exploração florestal e/ou resultante de culturas energéticas e de indústrias.

- Biomassa agrícola: advém, tal como o próprio nome indica, da exploração agrícola; por exemplo, os sobrantes das cadeias de valor de cereais, pomares, olival, vinha e outras atividades;
- Biomassa florestal: advém dos produtos gerados na floresta, materiais vegetais resultantes das operações de silvicultura, resíduos resultantes do controlo de áreas com invasoras lenhosas, e de medidas de defesa da floresta contra incêndios;
- Culturas energéticas: espécies de rápido crescimento, isto é, rotações inferiores a seis anos, estando a sua transformação ligada à produção de energia elétrica ou térmica;
- Central de biomassa: são as instalações destinadas à transformação da biomassa em energia elétrica, térmica ou em cogeração;
- Regime de cogeração: permite aumentar a eficiência da conversão dos recursos e ainda reduzir as emissões gasosas e os custos de operação; ou seja, a produção simultânea de energia térmica e elétrica;
- Energia primária: trata-se de energia disponível na natureza antes de ser convertida;
- Energia final: é aquela que vais ser consumida, que chega ao destino.

2.2 Política Energética de Portugal

Em dezembro de 2019 foi publicado o Plano Nacional Energia e Clima para 2021-2030 [16], cujo principal objetivo para Portugal passou por permanecer na dianteira no que diz respeito à transição energética e a uma economia neutra em carbono: a maior ambição para o horizonte 2030 da União Europeia (UE) e nacional é a redução de emissões de Gases com Efeito de Estufa (GEE), a qual passará pela inserção de fontes de energia renovável nos diversos setores.

Portugal prevê contribuir para as metas da UE com, -17% no ano 2020, -45% a -55% em 2030 e -85% a -90% em 2050, para a redução de emissões de CO₂eq, face a 2005, através de 47% no reforço do peso das energias renováveis, 35%

no aumento da eficiência energética, isto é, na redução do consumo de energia primária e de 15% nas interligações elétricas [16].

Em suma, a Figura 3 mostra a tendência da redução das emissões de GEE para 2030, onde se observa que, na próxima década, é prevista uma acentuada redução, estando esta prevista para os setores da produção de eletricidade, dos transportes e dos edifícios.

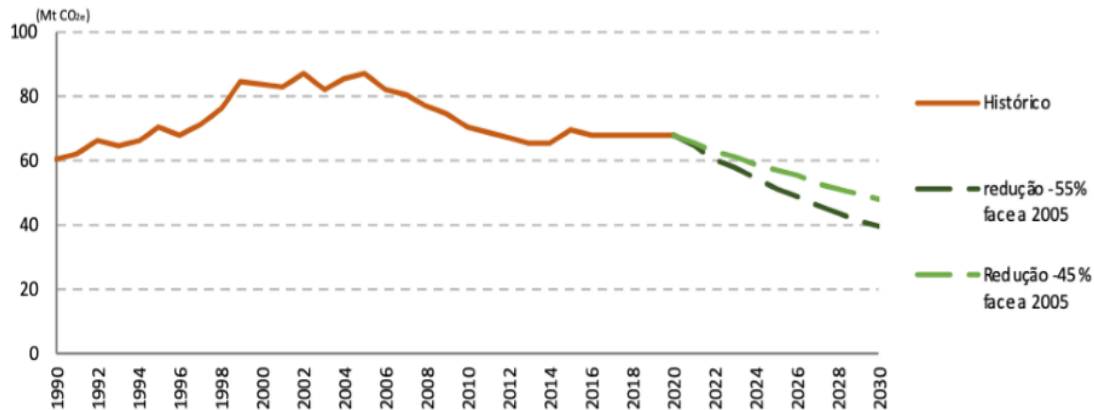


Figura 3 - Evolução das emissões de GEE (Mt CO₂eq) [Fonte: [16]]

Para assegurar a execução dos objetivos definidos para o horizonte 2030, quer a nível nacional quer da UE, Portugal estabeleceu oito objetivos:

- 1- Descarbonizar a economia nacional;
- 2- Dar prioridade à eficiência energética;
- 3- Reforçar a aposta nas energias renováveis e reduzir a dependência energética do país;
- 4- Garantir a segurança de abastecimento;
- 5- Promover a mobilidade sustentável;
- 6- Promover uma agricultura e floresta sustentáveis e potenciar o sequestro de carbono;
- 7- Desenvolver uma indústria inovadora e competitiva;
- 8- Garantir uma transição justa, democrática e coesa.

No que diz respeito à energia de fontes renováveis, Portugal apresenta um enorme potencial para explorar os seus recursos endógenos, potencial esse já reconhecido a nível europeu: mais de dois terços será oriundo do sol e do vento, prevendo-se que, em 2050, mais de 80% a energia tenha origem nestas fontes, transformando o sistema energético nacional essencialmente renovável; tudo isto terá um impacto positivo na fatura energética, no balanço comercial e, essencialmente, na dependência energética que, em 2015, se situava em 78%; em 2030 o objetivo de Portugal será de apenas 65% e, em 2050 a previsão é para menos de 20% [17].

Como já referido, Portugal traçou linhas de atuação no PNEC2030, com o intuito de contribuir para a meta 2030 a nível da UE, estas linhas permitem continuar a maximizar o potencial endógeno, que muito se encontra por explorar. Em 2030 o país quer atingir, pelo menos, 32% de energia renovável em termos de quota no consumo final bruto de energia; a Figura 4 ilustra a trajetória da quota de energia de fontes renováveis no consumo final bruto.

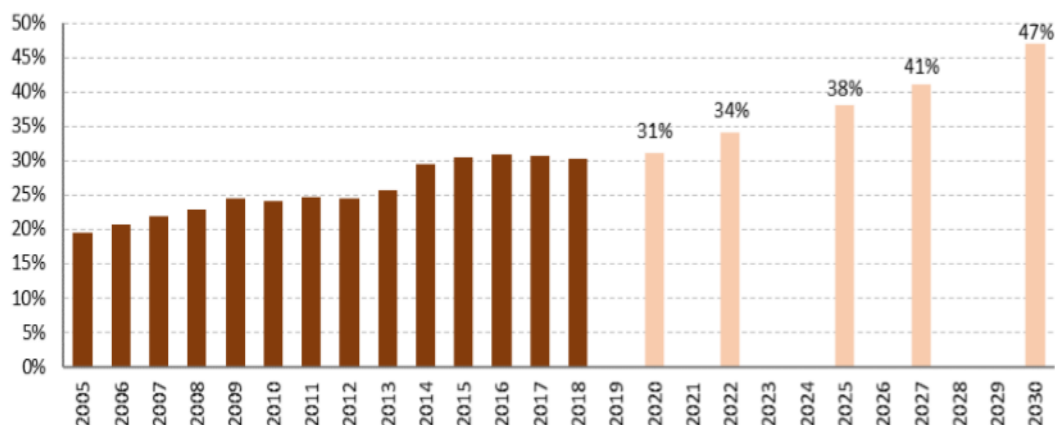


Figura 4 - Evolução da quota de energia de fontes renováveis no consumo final bruto [Fonte: [16]]

A nível setorial estima-se que, em 2030, aconteça um forte aumento na geração de eletricidade, de 80%, tal como ilustra a Figura 5; para este aumento haverá uma contribuição especial da tecnologia solar e eólica. No que diz respeito ao aquecimento e arrefecimento haverá um aumento de 38% (Figura 6); neste setor irá ser possível o aumento através de uma maior utilização de biomassa e de gases renováveis, de forma a descarbonizar os consumos térmicos e promover a eficiência energética, incentivando a instalação de pequenas centrais a biomassa de menor dimensão e descentralizadas, de forma a não colocar tanta pressão em termos de disponibilidade de biomassa e no sistema energético. Por último, nos transportes irá ocorrer um aumento de 20% (Figura 7), onde o maior contributo advirá da mobilidade sustentável, através da mobilidade elétrica, biocombustíveis e do hidrogénio [16].

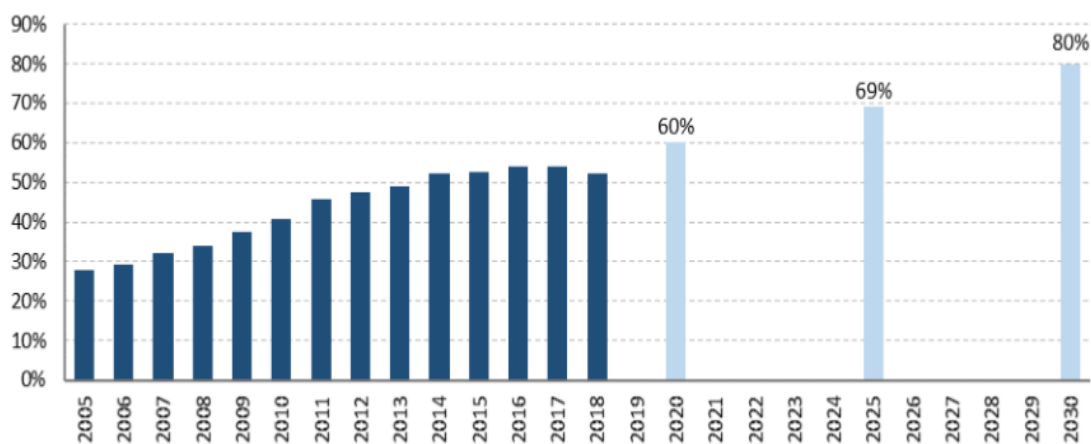


Figura 5 - Evolução da quota de energia de fontes renováveis na eletricidade [Fonte: [16]]

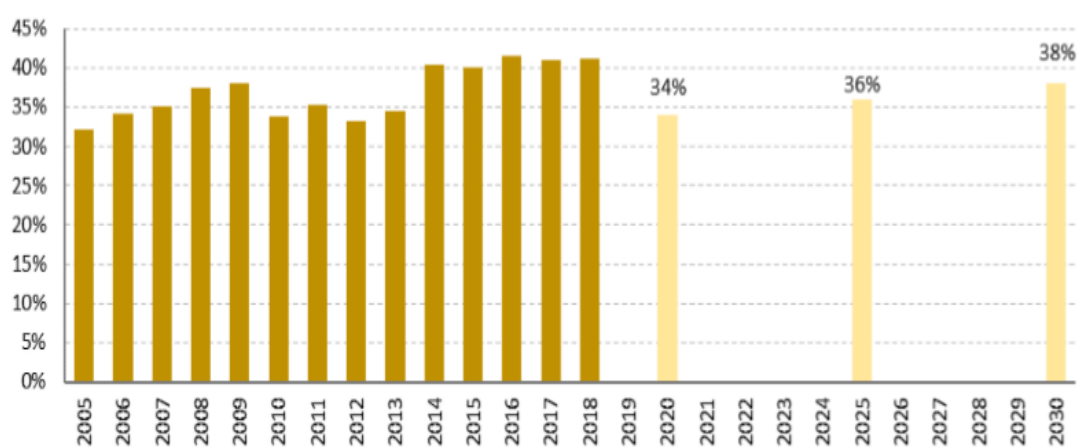


Figura 6 - Evolução da quota de energia de fontes renováveis no aquecimento e arrefecimento [Fonte: [16]]

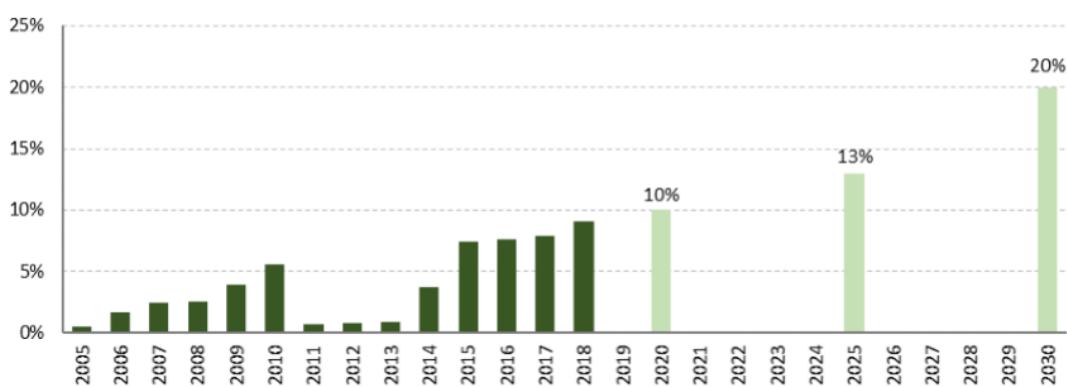


Figura 7 - Evolução da quota de energia de fontes renováveis nos transportes [Fonte: [16]]

2.3 A Biomassa

Biomassa não significa apenas resíduos de exploração florestal: segundo a diretiva 2009/28/CE, que veio a ser transposta pelo Decreto-lei nº 117/2010 [50], a biomassa é a fração biodegradável de produtos, resíduos e detritos de origem biológica, proveniente da agricultura, da exploração florestal, de indústrias e afins. No entanto, a fonte de biomassa mais importante é a madeira e os seus derivados, sendo este tipo de biomassa a mais relevante para o projeto.

A biomassa é composta por carboidratos – compostos orgânicos que se formam nas plantas; em geral, a biomassa típica contém cerca de 44% a 51% de carbono, entre 5,5% a 6,7% de hidrogénio, 41% a 50% de oxigénio e ligeiras quantidades de azoto, de 0,12% a 0,60%, e de enxofre [22].

2.3.1 A transformação da biomassa

A conversão da biomassa tem como objetivo transformar material sólido, que, por vezes, é difícil de manusear e armazenar, devido ao seu volume, levando assim ao seu abandono em locais não apropriados. Pode ter duas finalidades: como fonte de calor e geração de eletricidade; e ainda, a energia derivada da biomassa, ser convertida em calor e depois em outras formas de energia, tais como:

- Direta, quando obtida pela combustão da biomassa na fase sólida, sendo esta a forma mais utilizada;
- Indireta, quando são produzidos gases e/ou líquidos combustíveis através da pirólise.

Para produzir energia existem quatro processos diferentes: pirólise; gasificação; combustão; e a co-combustão:

- Na pirólise, a biomassa é submetida a temperaturas elevadas com ausência de oxigénio, de forma a acelerar a sua decomposição; esta vai gerar uma mistura de gases, líquidos e sólidos, onde os líquidos são chamados de bio óleos e os sólidos de carvão vegetal.
- A gasificação é igualmente feita com elevadas temperaturas e com ausência de oxigénio, originando um gás bastante inflamável, composto por uma mistura de monóxido de carbono, hidrogénio, metano, nitrogénio e dióxido de carbono. No entanto, pode ser submetido a uma filtração, com a finalidade de remover alguns resíduos dos componentes químicos. A grande diferença é que, neste processo, a temperatura necessária é menor do que no processo anterior, e resulta apenas um gás que vai direito às caldeiras ou a secadores. A gasificação passa por três etapas: a secagem; a pirólise ou carbonização; e a gasificação.

- Na combustão, à semelhança dos processos anteriores, ocorre a queima da biomassa; porém, com a presença de oxigénio, origina vapor a alta pressão, o qual é utilizado em caldeiras, ou para mover turbinas.
- A co-combustão tem como objetivo substituir a utilização do carvão mineral em termoelétricas por biomassa, reduzindo assim a emissão de poluentes.

A queima da biomassa na geração de energia faz com que haja uma redução total de emissões por unidade de energia produzida, minimização de desperdícios e, até mesmo, redução dos níveis de poluição do solo e água. É nesta fase da transformação que surge uma questão deveras pertinente: se os processos utilizados na extração de energia da biomassa são termoquímicos com emissões de dióxido de carbono, como pode então ser considerada uma energia de fonte limpa com benefícios para o meio ambiente? A resposta a esta questão passa está relacionada com o facto de a biomassa absorver o dióxido de carbono durante o crescimento da planta, mas liberta-a aquando da combustão; assim, a utilização da biomassa na produção de energia é neutra a nível carbónico, ou seja, ajuda na reciclagem do dióxido de carbono atmosférico e não contribui para o aumento do efeito de estufa [23].

2.3.2 Vantagens e desvantagens da utilização da biomassa

São inúmeros os benefícios da utilização da biomassa para gerar energia, tais como: apresenta baixo custo de aquisição; reduz as emissões de gases prejudiciais ao ambiente; melhora a qualidade de vida da sociedade; é uma fonte de energia renovável; melhora a limpeza de matas e florestas, eliminando sobrantes, quer da exploração quer da manutenção florestal, com vista à redução do risco de incêndio; é também benéfico para o desenvolvimento local, pois cria maior empregabilidade e impacto positivo na economia regional.

Porém, como qualquer outra fonte de energia, a biomassa apresenta algumas desvantagens, tais como: quando comparada com outros combustíveis, possui um menor poder calorífico, pelo que a relação preço/competitividade torna-a menos vantajosa, dando assim maior atratividade aos combustíveis fósseis; exige um esquema logístico mais complexo e mais dispendioso, quando comparada com outros combustíveis.

2.4 Potencial em biomassa

Segundo a eurodeputada Maria Graça Carvalho (2019), a biomassa terá uma grande relevância em Portugal e no mundo, como meio de combate às alterações climáticas. A biomassa e os resíduos representam cerca de dois terços de todo o consumo de energias renováveis na União Europeia.

Em Portugal é regularmente utilizada na indústria da pasta de papel; existe assim grande potencial para a biomassa, sendo o seu potencial estimado, por diversos setores do País, de 42.489 gigawatts/hora por ano.

João Matos Fernandes (2019), ministro do Ambiente e da Ação Climática, diz: “ouvi muitas vezes dizer que a floresta nacional é 98% de privados. Temos de nos preparar para intervir na floresta; por outro lado, o estado tem de cuidar muito bem dos outros 2% que são públicos.”[7].

Tendo em consideração a Resolução do Concelho de Ministros nº29/2010, a biomassa apresenta um elevado potencial, quer produzindo energia e calor, sendo neutro no que concerne às emissões de dióxido de carbono. Portugal apresenta uma grande mancha florestal e, grande parte, sem gestão ou manutenção; será esta manutenção que irá ter um grande impacto social, quer na criação de emprego e, até mesmo, na fixação de população nas zonas do interior do país.

De forma a perceber-se melhor o potencial em biomassa no local de estudo acedeu-se ao Plano Municipal de Defesa da Floresta Contra Incêndios (PMDFCI), onde se verifica a ocupação do solo que, em parte, é feita por agricultura, floresta, improdutivo, matos e pastagens e urbanos (Figura 8); as principais famílias que contribuem para a produção de biomassa são o carvalho, o eucalipto, o pinheiro bravo, o castanheiro e o pinheiro manso (Figura 9). Conclui-se que a ocupação do solo por parte agrícola é de 22% da área do concelho, e por parte florestal cerca de 63% da área do concelho [38].

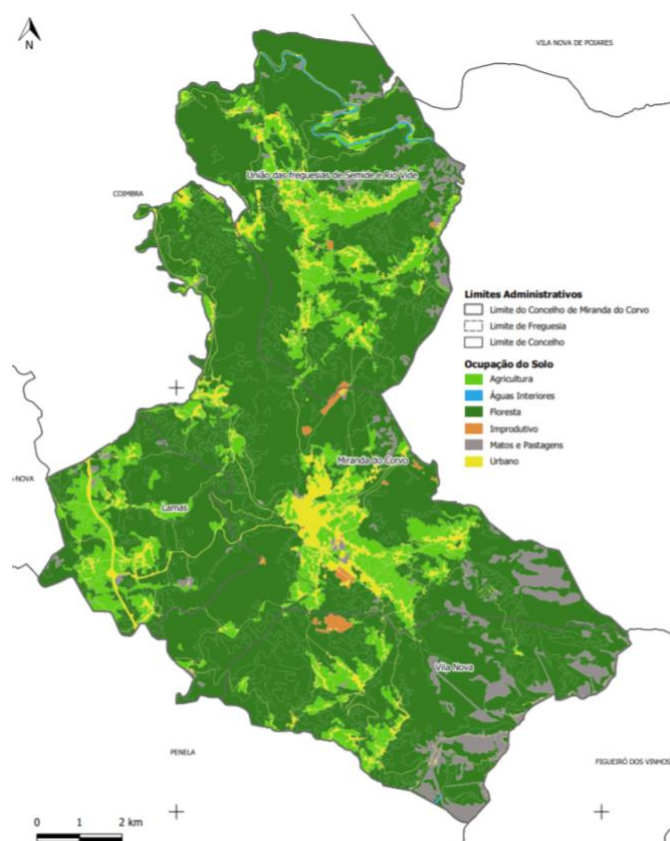


Figura 8 – Mapa de uso e ocupação de solo do concelho Miranda do corvo [Fonte: [39]]

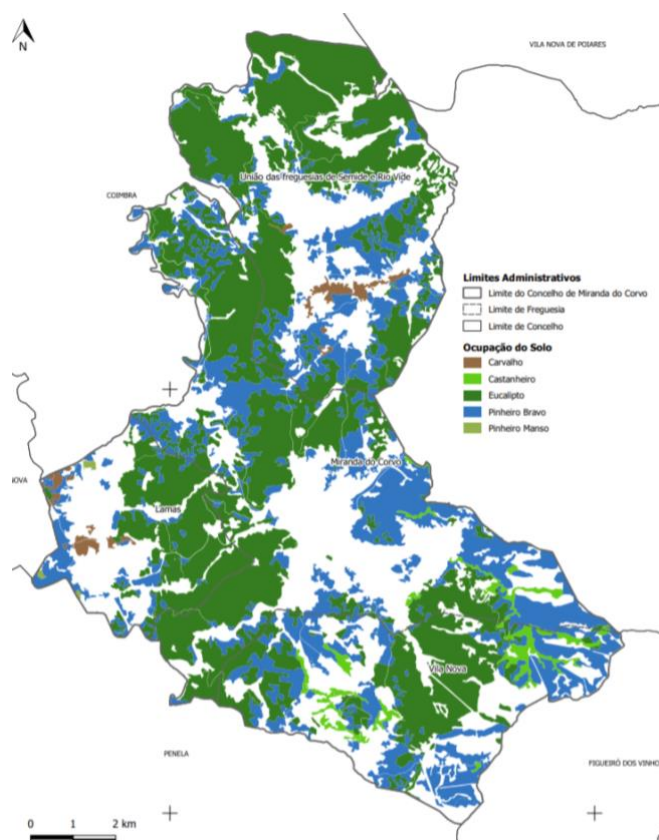


Figura 9 - Mapa de povoamentos florestais do concelho Miranda do corvo [Fonte: [39]]

O mesmo estudo do PDMFCI foi realizado para os concelhos de maior proximidade, que possam vir a ser fornecedores de biomassa. No concelho de Penela, a ocupação do solo é essencialmente florestal, com cerca de 70% da área; o restante está repartido por zonas agrícolas, improdutivo e inculto (Figura 10). Para a produção de biomassa, as principais famílias existentes no concelho são os carvalhos, eucaliptos, castanheiros e pinheiro-bravo. Sendo o eucalipto a espécie predominante, com 74% da área florestal do concelho, salienta-se ainda uma mancha razoável de pinheiro-bravo, com cerca de 18,6% da área (Figura 11) [40].

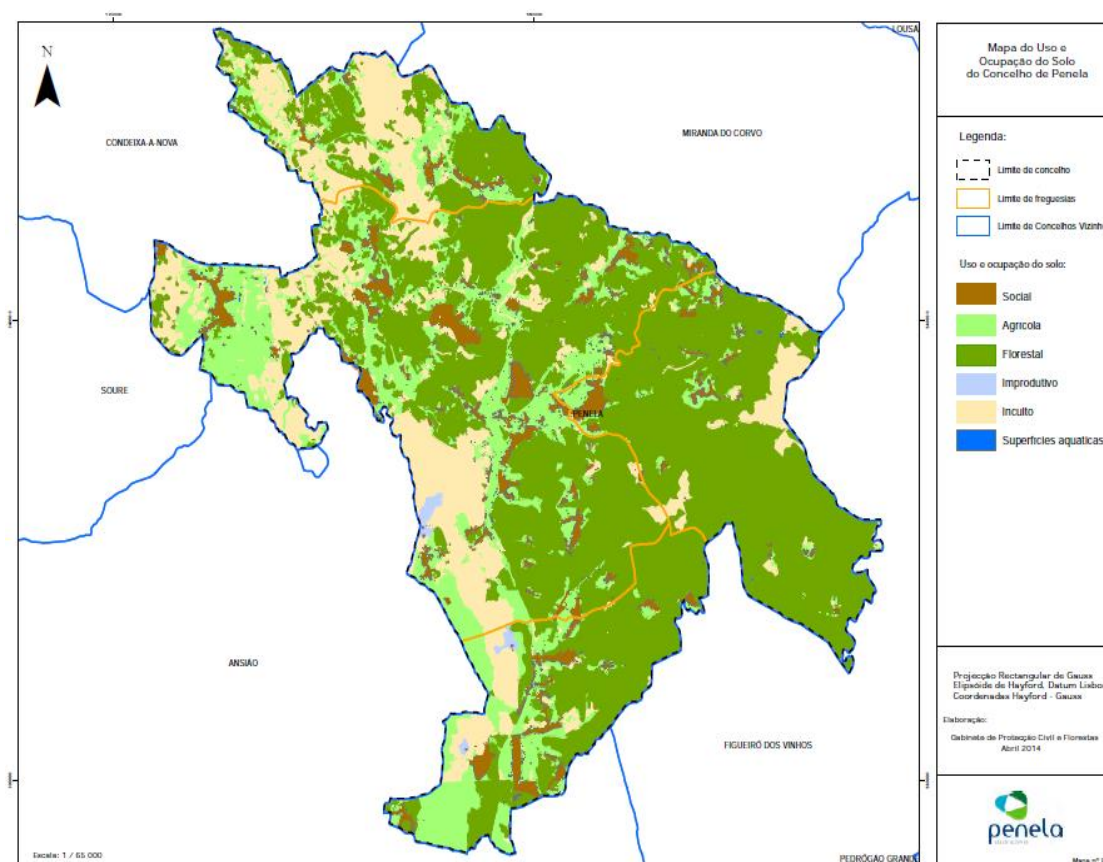


Figura 10 - Mapa do uso e ocupação de solo do concelho de Penela [Fonte: [40]]

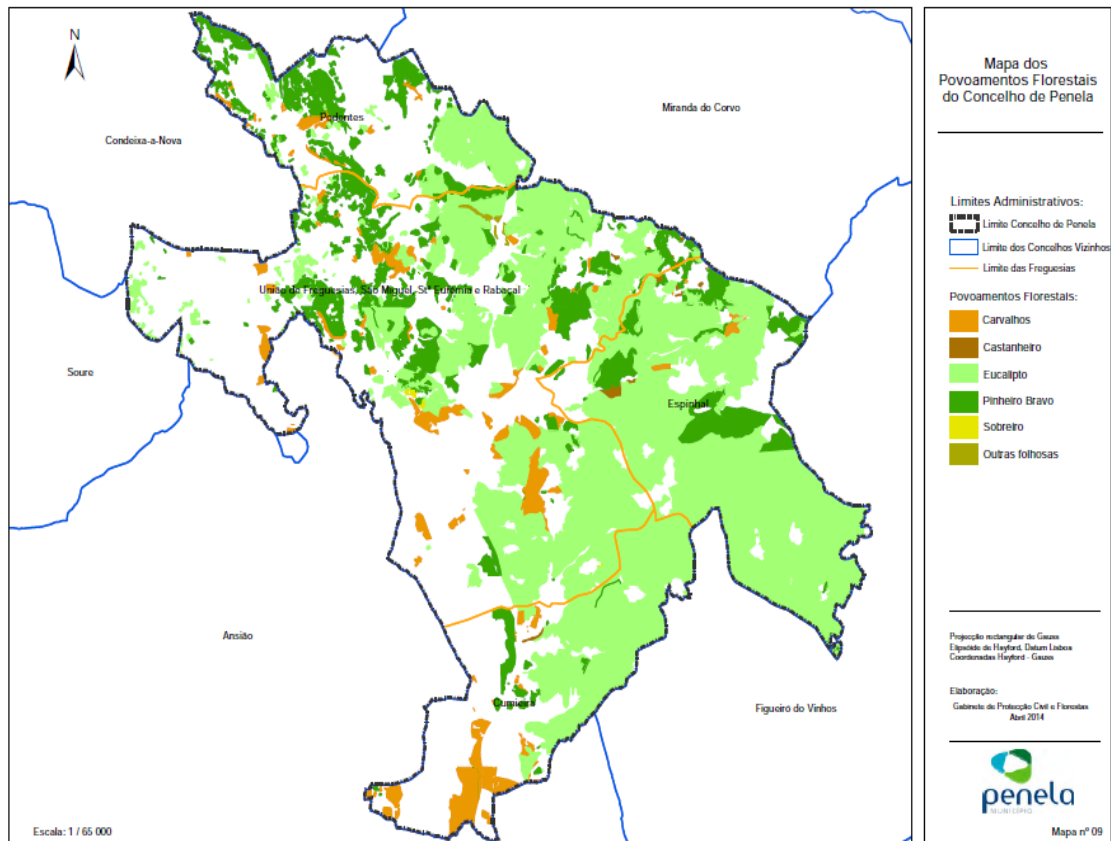


Figura 11 - Mapa dos povoamentos florestais do concelho de Penela [Fonte: [40]]

2.5 Logística e transporte na área da biomassa

Segundo o *Council of Supply Chain Management Professionals*¹, a gestão logística é responsável por planear, implementar e controlar o eficiente e eficaz fluxo direto e inverso e as operações de armazenamento de bens, serviços e informação relacionada entre o ponto de origem e o de consumo, de forma a satisfazer as necessidades dos clientes [44].

Mas seria assim tão relevante abordar a temática da logística neste projeto? A logística compreende o transporte de mercadorias, ou seja, o movimento de produtos, quer sejam matérias-primas ou produtos acabados, desde os produtores até ao consumidor final e é, reconhecidamente, uma área crítica para o desempenho de uma cadeia de abastecimento [44].

Neste projeto será utilizado o transporte secundário, ou seja, o da matéria-prima (biomassa), e o transporte primário, daí a importância da logística:

- Entende-se por transporte primário o que é realizado por caminhos florestais, desde o local de abate até ao carregadouro; por vezes, esta

¹ <https://careers.cscmp.org/>

ação é designada por extração ou recarga. A descarga nos carregadouros, que são pontos de encontro, por norma situados junto de estradas, onde aguarda o transporte secundário, pode ser feita para o chão ou, sempre que possível, para o veículo de transporte secundário, otimizando assim recursos.

- Por transporte secundário designa-se aquele que é feito desde o carregadouro até à unidade de produção de energia.

Estes transportes serão efetuados, necessariamente, por via rodoviária, sendo esta a que permite a máxima flexibilidade e fiabilidade, conseguindo ainda a entrega ponto a ponto com as mais baixas taxas de circulação em vazio, adaptando-se a distâncias muito curtas e num máximo a distâncias de 500 km [44].

3. Metodologias

3.1 Caracterização da área de estudo

O projeto situa-se na beira litoral da região centro, no distrito de Coimbra, concelho de Miranda do Corvo. Este apresenta uma área de 126.38 km², sendo constituído por cinco freguesias: Lamas; Miranda do Corvo; Rio Vide; Semide; e Vila Nova. Faz fronteira com seis concelhos, são eles: Vila Nova de Poiares (nordeste); Lousã (leste); Figueiró dos Vinhos (sueste); Penela (sudoeste); Condeixa-a-Nova (oeste); e Coimbra (noroeste) – Figura 12.

Este concelho é tipicamente florestal; cerca de 73,4% da sua área é ocupada com floresta, tendo sido classificado com um registo de muitas ocorrências na temática dos fogos florestais e muita área ardida. Apresenta um clima de características mediterrânicas, como é o caso do nosso país, o que o torna propício ao desenvolvimento das energias renováveis [38].

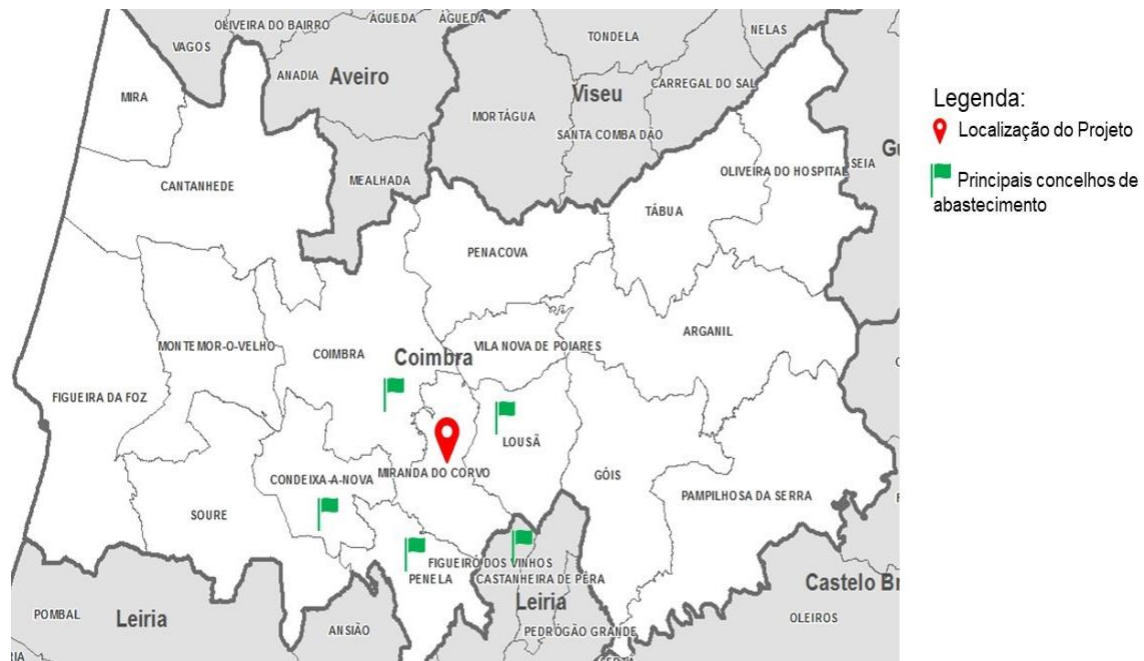


Figura 12 - Área de estudo e zona envolvente

3.1.1 Localização da Central e suas áreas de abastecimento

Os processos da localização de centrais, por norma, respeitam determinados aspetos, nomeadamente: haver áreas de elevada produção de biomassa florestal; locais com rede elétrica bem desenvolvida; zonas de boas infraestruturas para o transporte; e zonas de alto risco de incêndios florestais.

No caso de estudo, a localização da central já tinha sido estrategicamente pensada, pelos motivos anteriormente referidos e por se tratar de uma área

bastante fustigada por ocorrências de incêndios florestais: só entre 2001 e 2019 foram registadas 966 ocorrências e um total de área ardida de 7794,3 ha, apenas no concelho de Miranda do Corvo. O concelho é também dotado de razoáveis infraestruturas para os transportes e de rede elétrica. Na Figura 13 é possível identificar as redes de energia elétrica de média tensão (azul-claro), de média-alta tensão (verde escuro), e de alta tensão (rosa).

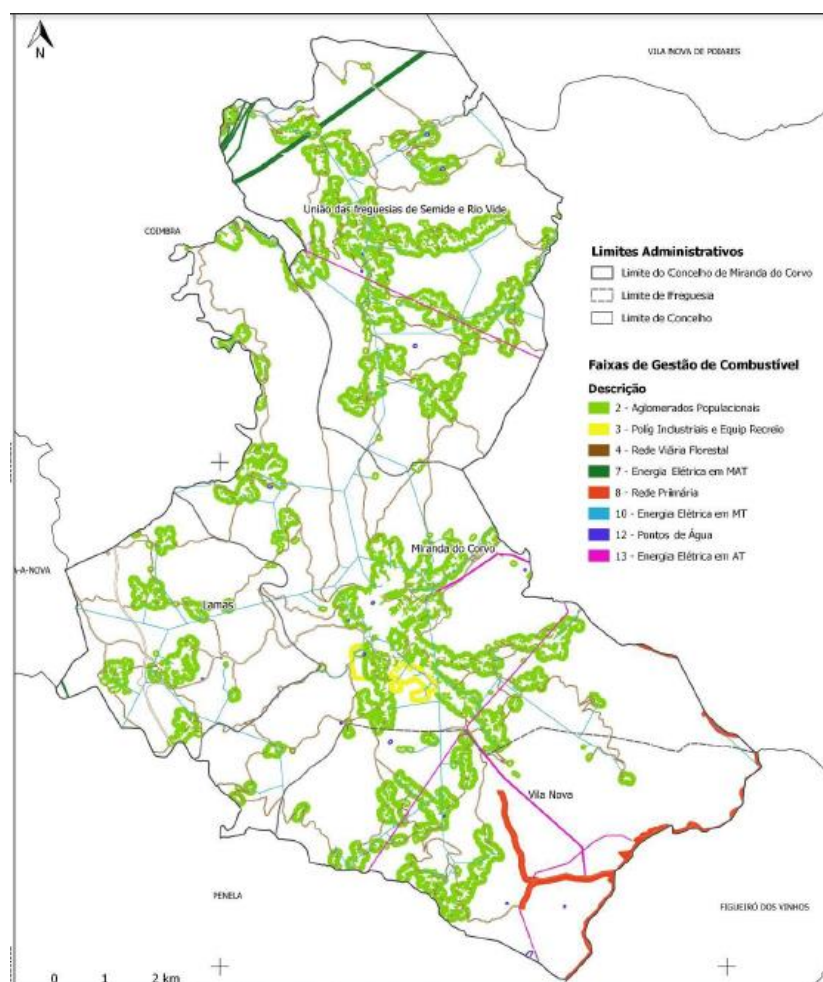


Figura 13 - Mapa de faixas de gestão combustíveis [Fonte: [39]]

Quanto à área de abastecimento, foi utilizado um *software* de Sistema de Informação Geográfica (SIG); com a definição exata do local da central foi possível criar um *buffer* de 15 km em torno do ponto principal (Figura 14), de forma a definir as zonas abrangidas, que permita o abastecimento da central sem que os custos financeiros sejam elevados.

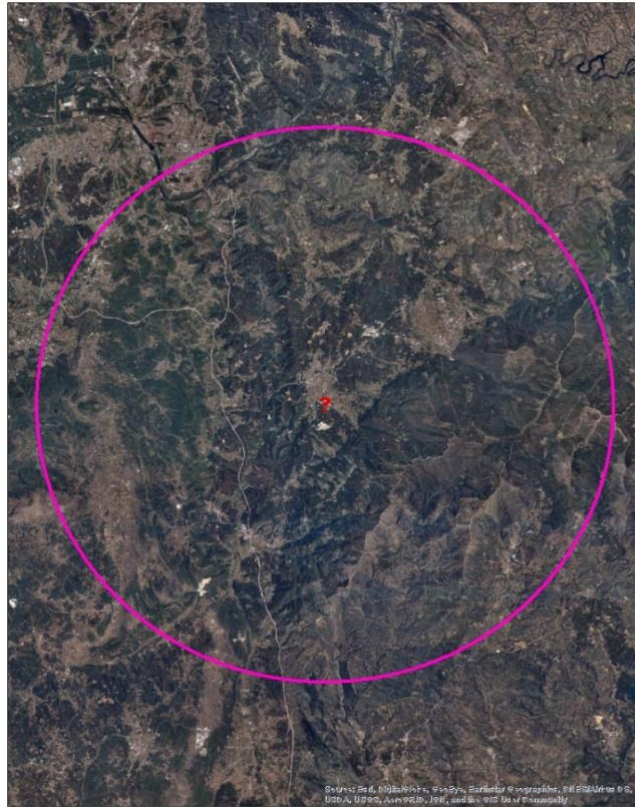


Figura 14 - Buffer de 15km para abastecimento da central

3.2 Método e técnica

A central de biomassa irá compreender as seguintes unidades físicas e funcionais:

- Zona de receção, preparação, armazenagem e transferência de biomassa;
- Caldeira (gerador) vapor;
- Sistemas auxiliares da caldeira (água de alimentação, água de compensação, condicionamento químico dos circuitos água/vapor, ventiladores);
- Filtros de mangas, sistema de recolha e armazenagem de cinzas e chaminé;
- Turbogenerador a vapor e sistemas auxiliares (lubrificação e arrefecimento);
- Condensador do vapor da turbina e circuito da água de arrefecimento, incluindo a torre de arrefecimento;
- Sistema interno de ar comprimido;
- Redes internas de água e esgoto;
- Sala de controlos e comandos;
- Sala dos quadros elétricos;

- Subestação elétrica.

Na Figura 15 é apresentado um esquema simplificado da central.

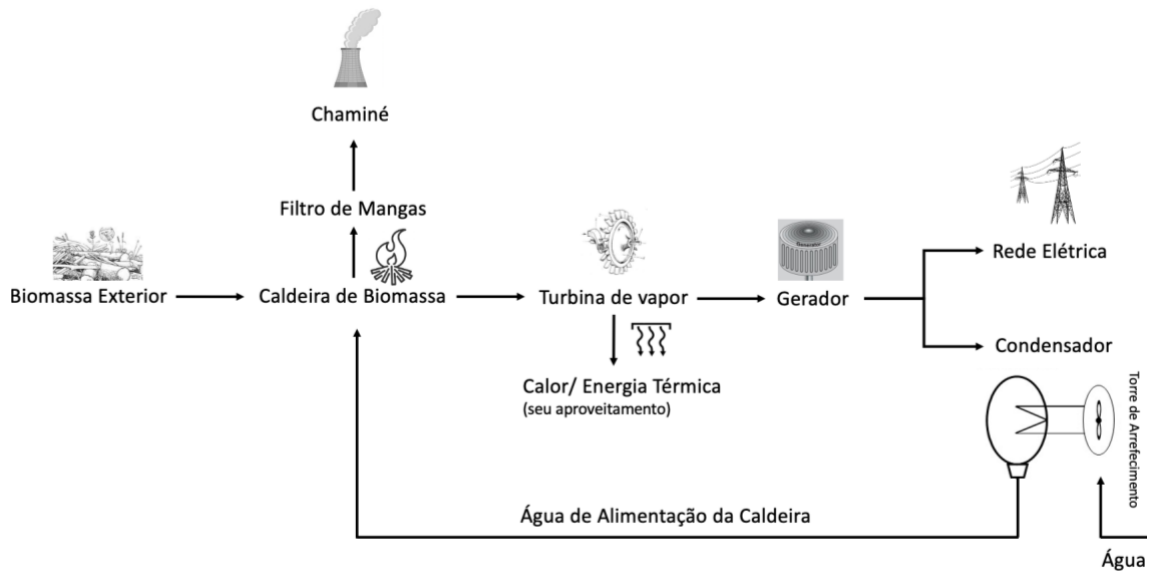


Figura 15 - Esquema Simplificado da Central de Biomassa

O projeto irá contemplar uma área total de cerca de 10.000 m², sendo que 7.500 m² será área coberta e irá apresentar uma altura máxima de construção de 80 metros, a qual será atingida pela chaminé. A implementação do projeto vai requerer algumas atividades, tais como a preparação da zona de implementação, a construção de edifícios para as salas e para a turbina e a construção de armazéns, construção da subestação elétrica, construção da chaminé e de todas as redes técnicas necessárias (água, eletricidade, esgotos, etc.). Será uma instalação termodinâmica de vapor para a produção de eletricidade utilizando então como combustível a biomassa. Esta será transportada em veículos pesados para a zona de receção, sendo aqui preparada e armazenada de forma a ser introduzida na caldeira. A queima da biomassa irá ocorrer na fornalha da caldeira, é introduzida na caldeira água a fim de se tornar em vapor, sendo este depois expandido na turbina até se tornar novamente em líquido e retornando à caldeira.

A energia é então produzida através do gerador, que será ligado ao eixo da turbina. Os gases da combustão depois de saírem da caldeira, serão lançados na atmosfera respeitando os limites legais das emissões gasosas de sistemas de combustão industrial. A Figura 16 ilustra todo processo semelhante ao que irá ser realizado na central.

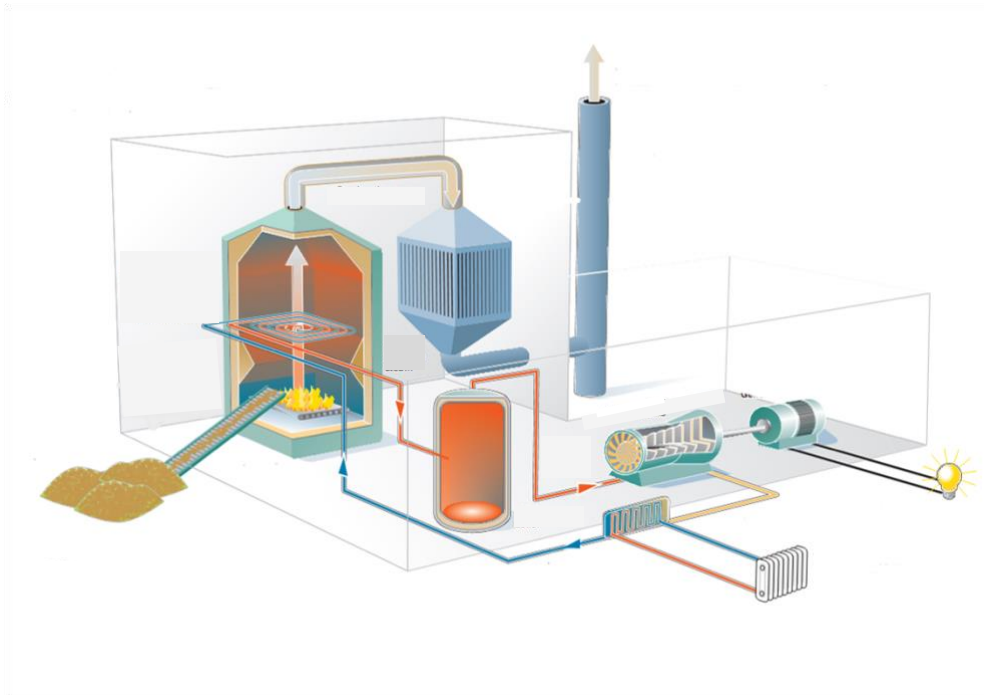


Figura 16 - Exemplo do processo da central [43]

3.3 Análise Quantitativa

No sexto inventário florestal nacional (IFN6), é possível averiguar espaços florestais (floresta, matos e terrenos improdutivos) ocupam cerca de 6,2 milhões de hectares (69,4%) do território nacional [47].

3.3.1 Equações de Biomassa

As equações inseridas nas Tabela 1, (2) e (3) são de grande utilidade, pois concedem o recurso de biomassa disponível e modelação da produtividade florestal. As equações que nos são mais úteis são as de componente arbórea utilizando as equações por espécies: biomassa do lenho, biomassa de tronco, biomassa dos ramos, biomassa da copa e biomassa das raízes. As seguintes equações são utilizadas nos cálculos de volume de biomassa, apenas serão explanadas as equações para as espécies com maior presença na área em estudo.

Tabela 1 - Equações utilizadas na estimação da biomassa - Pinheiro Bravo e outras resinosas. [Fonte: [47]]

Modelos					
$(1) w_i = \beta_0 d^{\beta_1} h^{\beta_2} \quad (i = s, b, c) \quad (2) w_i = \beta_0 d^{\beta_1} \left(\frac{h}{d}\right)^{\beta_2} \quad (i = br, l)$					
Componente	Modelo	β_0	β_1	β_2	Fonte
Tronco (ws)	1	0,0146	1,94687	1,106577	Tomé et al., 2007d
Casca (wb)	1	0,0114	1,8728	0,6694	Tomé et al., 2007d
Ramos (wbr)	2	0,00308	2,757606	-0,39381	Tomé et al., 2007d
Agulhas (wl)	2	0,09980	1,392518	-0,71962	Tomé et al., 2007d
Total aérea (wa)	wa = ws + wbr + wl				
Raízes (wr)	wr = 0,2756 wa				
Pinhas (wc)	1	147,7	2,4977	-	Faixas et al., 2007

d – diâmetro da árvore medido a 1,30 m de altura (cm); h – altura total da árvore (m); w_i – biomassa da componente i da árvore (kg); wa – biomassa total aérea da árvore (kg).

Tabela 2 - Equações utilizadas na estimação da biomassa - Eucalipto ssp. [Fonte: [47]]

Modelos					
$(1) w_i = \beta_0 d^{\beta_1} h^{\beta_2} \quad (i = w, b) \quad (2) w_i = \beta_0 d^{\beta_1} \left(\frac{h}{d}\right)^{\beta_2} \quad (i = br, l)$					
Componente	Modelo	β_0	β_1	β_2	Fonte
Lenho (ww)	1	0,009964	se hdom ≤ 10,7100: $\frac{hdom}{-0,70909 + 0,627861 hdom}$ se hdom > 10,7100: 1,780459 árvores dispersas noutros estratos: 1,780459	1,369618	Tomé et al. 2007d
Casca (wb)	1	0,000594	se hdom ≤ 18,2691: $\frac{hdom}{-0,69951 + 0,45855 hdom}$ se hdom > 18,2691: 2,379475 árvores dispersas noutros estratos: 2,379475	1,084988	Tomé et al. 2007d
Ramos (wbr)	2	0,095603	1,674653	-0,85073	Tomé et al. 2007d
Folhas (wl)	2	0,248952	1,264033	-0,7121	Tomé et al. 2007d
Total aérea (wa)	wa = ww+wb+wl+wbr				
Raízes (wr)	wr = 0,2487 wa				

d – diâmetro da árvore medido a 1,30 m de altura (cm); h – altura total da árvore (m); w_i – biomassa da componente i da árvore (kg); wa – biomassa total aérea da árvore (kg); hdom – altura dominante (m).

Tabela 3 - Equações utilizadas na estimação da biomassa - Carvalhos e outras folhosas. [Fonte: [47]]

Modelos					
$(1) w_i = \beta_0 c^{\beta_1} h^{\beta_2} \quad (i = s, br, l)$					
Componente	Modelo	β_0	β_1	β_2	Fonte
Tronco (ws)	1	0,00245	1,71951	1,43530	Mendes, 2011
Ramos (wbr)	1	0,00025	2,66950	0,56471	Mendes, 2011
Folhas (wl)	1	0,00399	1,88754	-	Mendes, 2011
Total aérea (wa)	wa = ws+wbr+wl				
Raízes (wr)	3	0,088480	2,133460	-	Montero et al., 2005

c – circunferência da árvore medida a 1,30 m de altura (cm); h – altura total da árvore (m); w – biomassa da árvore (kg); wa – biomassa total aérea da árvore (kg).

Tabela 4 - Equações utilizadas na estimação da biomassa - Castanheiro e acácias. [Fonte: [47]]

Modelos					
$(1) w_w = \beta_0 d^{\beta_1} h^{\beta_2}$ $(2) w_i = \beta_0 d^{\beta_1}_{(i=b, r)}$ $(3) w_{br} = \beta_0 d^2 h$ $(4) w_l = \beta_0 d^{\beta_1} \left(\frac{h}{d}\right)^{\beta_2}$					
Componente	Modelo	β_0	β_1	β_2	Fonte
Lenho (ww)	1	0,02044	1,76603	1,16402	Patrício, 2006
Casca (wb)	2	0,06574	1,84096	-	Patrício, 2006
Ramos (wbr)	3	0,00440	-	-	Patrício, 2006
Folhas (wl)*	*	-	-	-	-
Total aérea (wa)	wa = ww+wb+wbr				Patrício, 2006
Raízes (wr)	2	0,018973	2,838920	-	Montero et al., 2005
d – diâmetro da árvore medido a 1,30 m de altura (cm); h – altura total da árvore (m); w_i – biomassa da componente i da árvore (kg); wa – biomassa total aérea da árvore (kg). * A biomassa de folhas do Castanheiro é a mesma equação de biomassa de folhas dos Carvalhos, no caso das Acácias utilizou-se a equação de biomassa de folhas do eucalipto. Optou-se por aplicar as equações de biomassa do castanheiro às restantes componentes de biomassa da acácia pela maior semelhança nos seus valores de densidade da madeira (Castanheiros bravo e manso: 600 e 515, Acácia 650 e eucalipto 850; Albino de Carvalho, 1996)					

3.3.2 Modelos de Silvicultura

Estes modelos servem para definir momentos onde serão realizadas operações consideradas: desbastes e corte final. São também definidas através de operações e práticas realizadas ao longo da revolução do povoamento, estando diretamente relacionadas com os objetivos de produção bem como os modos de exploração do produto [46]. As tabelas seguintes apresentam os modelos de silvicultura mais utilizados, apresentando os momentos de intervenção, o que é realizado e com que critério.

Eucalipto comum

Trata-se de uma espécie de rápido crescimento, normalmente é explorado em talhadia de revolução curta, de duração entre os 10 – 15 anos. Existe já diversos clones em comercialização para permitir o aumento da produção, bem como adaptação melhorada às condições locais e minimização de problemas como pragas.

Tabela 5 - Modelo de Silvicultura do Eucalipto comum. [Fonte: [45]]

Momento da intervenção	Intervenção	Critério de aplicação
Entre a retanca e o 10º ano	Controlo da vegetação concorrente: manualmente, nas linhas de plantação Controlo da vegetação concorrente: mecânica ou manualmente, nas entrelinhas	- Quando a vegetação infestante entra em concorrência com as jovens plantas - Quando o estrato arbustivo entra em contacto com a parte inferior da copa
Entre o 2.º e o 4.º ano	Desramação de todas as árvores	- Retirar os ramos do primeiro terço do fuste
Entre o 10.º e o 14.º ano	1.º desbaste: Retirar 50% das árvores, devendo as respetivas toíças ser desvitalizadas após a realização do desbaste.	- Desbaste sistemático
Entre o 25.º e o 30.º ano	Corte final	- A densidade final será da ordem das 600 árvores/ha

Pinheiro-Bravo

É uma espécie de crescimento rápido, é a resinosa autóctone mais representativa em Portugal. A informação sobre os povoamentos de pinheiro-bravo são praticamente inexistentes, nomeadamente no que diz respeito à sua silvicultura e produtividade, embora seja frequente a ocorrência de povoamentos mistos com eucaliptos ou sobreiros.

Tabela 6 - Modelo de Silvicultura do Pinheiro-Bravo. [Fonte: [45]]

Momento da intervenção	Intervenção	Critério de aplicação
Entre a retanca e os 10 anos	2 a 3 limpezas de mato: Manualmente, nas linhas de plantação Limpeza de mato suplementar: realizada mecânica ou manualmente, nas entrelinhas	- Quando a vegetação espontânea entra em concorrência diretamente com as jovens plantas - Quando o estrato arbustivo entra em contacto com a parte inferior da copa
Entre os 8 e os 10 anos	Limpeza de povoamento	- Em povoamentos com densidade superior a 1500 árvores/há, reduzir a densidade para 1000-1200 árvores/há, usando um critério seletivo que consiste na remoção das árvores mortas, doentes e de pior qualidade - Em povoamentos com densidades menores que 1500 árvores/há, retirar apenas árvores mortas, doentes e malconformadas
Período provável: 10 a 15 anos	Desramação das árvores que atingirão o corte final (300 a 500), feita até aos 3-4m de altura. Realizar em 2 a 3 intervenções	- Só se desramam árvores com DAP compreendido entre os 10 e os 15 cm. Não se devem cortar ramos com mais de 2 a 3 cm de diâmetro de base
Entre os 15 e os 20 anos	1.º desbaste: Retirar entre 20% a 40% das árvores	- Desbaste seletivo pelo baixo. Realizar a operação quando houver contato entre as copas das árvores
Entre os 25 e os 30 anos	2.º desbaste: Retirar entre 20% a 30% das árvores	- Desbaste seletivo pelo baixo. Realizar a operação quando houver contato entre as copas das árvores
Entre os 35 e os 40 anos	3.º desbaste: Retirar entre 20% a 30% das árvores	- Desbaste seletivo pelo baixo. Realizar a operação quando houver contato entre as copas das árvores
Entre os 40 e os 45 anos	Corte final	- A densidade final deverá ser de 300 a 500 árvores.

Carvalho

É uma espécie de crescimento rápido, necessita de uma silvicultura com desbastes fortes e precoces.

Tabela 7 - Modelo de Silvicultura do Carvalho. [Fonte: [45]]

Idade (anos)	Intervenções culturais
0	- Plantação ≥ 2000 plantas/há; ou - Sementeira a lanço 200kg/há
2-8	- Limpezas inter e interespecíficas. Ficam apenas as melhores árvores, eliminando-se as malconformadas e as que desramam mal
20	- O povoamento deve apresentar 600-1000 árvores/há vitais e bem conformadas
2 em 2 ou 3 em 3	- Desbastes pelo alto que gradualmente vão libertando as melhores dominantes
30 a 40	- Escolha de 100 a 200 árvores de futuro
4 em 4 ou 5 em 5	- Desbastes pelo alto mistos ou mistos para favorecer as árvores de futuro que, se necessário, serão desramadas
50	- Fim dos desbastes
70-80	- Corte final DAP=60 cm

Castanheiro

Neste caso é o castanheiro de produção de madeira, geralmente de boa qualidade, a condução em talhadia apresenta uma grande flexibilidade.

Tabela 8 - Modelo de Silvicultura do Castanheiro. [Fonte: [45]]

Momento da intervenção	Intervenção	Critério de aplicação
Entre o 2.º e o 4.º ano	Limpeza da vegetação herbácea: manualmente, nas linhas de plantação, antes da rebentação. Limpeza da vegetação lenhosa e de fetos: realizada nas linhas, manualmente e de forma seletiva	- A realizar apenas quando a presença de herbáceas implicar competição com as plantas de castanheiro relativamente à água - Sempre que haja perigo de abafamento das jovens plantas
A iniciar entre os 2-4m de altura total (idade provável: 3-5 anos) e a terminar entre os 7-8 m de altura total (idade provável: 8 -12 anos)	Poda de formação das plantas mais possantes e bem conformadas, até as árvores terem um DAP de 20 cm	- Mediante intervenções frequentes, através das quais se reduz progressivamente o número de plantas podadas, assegurando-se 400 castanheiros/há bem conformados e distribuídos por todo o povoamento
Entre o 5.º e o 6.º ano	Rolagem	- A realizar seletivamente sobre as plantas malconformadas, com porte arbustivo, quando o respetivo sistema radicular estiver devidamente instalado e antes da rebentação primaveril
A iniciar entre os 7-9 m de altura (idade provável: 8-13 anos) com última intervenção entre os 14-16 m de altura total (idade provável: 20-23 anos)	Desramação das melhores árvores até cerca de 300/ha	- Faz-se através de 2 a 4 passagens sucessivas, intervaladas de 2 a 4 anos. Sendo três as intervenções, na 1.ª desrama-se até 2 a 3 m de altura total, na 2.ª até 4m e na 3.ª até 6 m. Suprimem-se os ramos de baixo para cima. A altura a desramar nunca deverá

		ser superior a 1/3 a 1/2 da altura total da árvore.
Entre os 11-12 m de altura total (idade provável: 13-16 anos)	1º desbaste: retirar aproximadamente 20 a 30% das árvores em pé. Em simultâneo pré-designação das árvores de futuro (escolhem-se entre 140 a 250): classe e DAP=15 cm. Aquando desta intervenção, poderá realizar-se também a 2º desramação	- Desbaste seletivo pelo alto misto. Realizar a operação quando houver contato entre as copas das árvores
Entre os 14-16 m de altura total (idade provável: 20-23 anos)	2º desbaste: retirar aproximadamente 40% das árvores em pé. Aquando desta intervenção, poderá realizar-se também a 3º desramação.	- Desbaste seletivo pelo alto misto. Realizar a operação quando houver contato entre as copas das árvores
Entre os 18-20 m de altura total (idade provável: 27-30 anos)	3º desbaste: retirar aproximadamente 30% das árvores em pé	- Desbaste seletivo pelo alto misto
Entre os 20 – 24 m de altura total (idade provável: 35 – 40 anos)	4º desbaste: retirar aproximadamente 30% das árvores em pé	- Desbaste pelo baixo, com cuidado de não danificar os indivíduos provenientes de regeneração natural
Entre os 24-26 m de altura (idade provável: 40-45 anos)	Corte final: o povoamento deverá ter uma densidade compreendida entre 170 e 200 árvores/ha	- Optar pela modalidade de corte raso, com o cuidado de não danificar os indivíduos provenientes de regeneração natural

3.4 Análise económica

Nesta seção é feita a análise económica e financeira do uso da biomassa com o intuito de produzir energia elétrica; para tal é necessário ter em conta as propriedades da matéria-prima, ou seja, o poder calorífico e humidade. No entanto, a análise é deveras complexa, pois existem análises que consideram as oscilações no mercado da madeira; neste projeto são tidos apenas em consideração os custos associados à cadeia de exploração da biomassa, optando por, numa primeira fase desta análise, deixar as outras variáveis de fora.

A análise irá conter o custo final da soma de operações como transporte primário, trituração e transporte secundário. Segundo Netto (2008) [30], os valores para o transporte primário estão num intervalo de 6 €/ton e os 7,50 €/ton, depende muito das máquinas utilizadas e da acessibilidade aos locais. Na operação da trituração o custo associado é em média de 8 €/ton, sendo este o custo resultante da operação trituração propriamente dita e o de alimentação. Para o transporte secundário foi tida em consideração uma equação (Equação 1).

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

Equação 1 - Custo do transporte secundário em função da distância

A Tabela 9 apresenta os custos associados às operações referidas anteriormente. Com análise à Figura 17 é possível verificar que a operação de trituração é a que apresenta maior peso com 44% do custo total, o transporte secundário representa 23% do custo total. Sendo que este valor aumenta consoante aumenta a distância, na Figura 18 podemos verificar isso mesmo, embora no presente caso prático a diferença é apenas de 1%.

Tabela 9 - Resumo dos custos de transporte primário, trituração e transporte secundário

Cenário	Transporte Primário (€/ton)		Trituração (€/ton)	Transporte Secundário (€/ton)	Custo total (€/ton)	
	Otimista	Conservador			Otimista	Conservador
10 km	6	7,5	8	4,1312	18,1312	19,6312
15 km	6	7,5	8	4,5128	18,5128	20,0128

Raio de 10 km cenário otimista

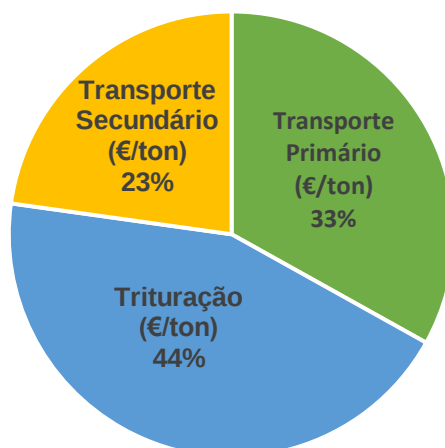


Figura 17 - Representatividade dos custos das operações no custo total, num raio de 10 Km

Raio de 15 km cenário otimista

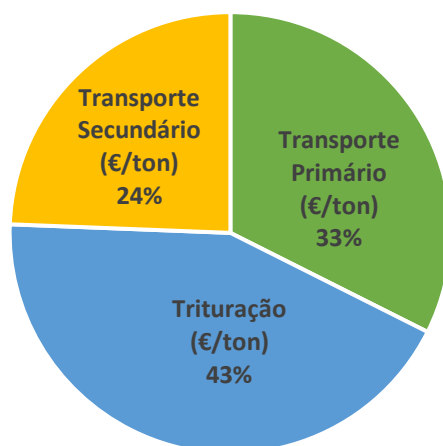


Figura 18 - Representatividade dos custos das operações no custo total, num raio 15 Km

4. Caso de Estudo

4.1 Caracterização do projeto

4.1.1 Configuração Geral da CTBF

O caso de estudo utilizado é uma avaliação de projeto de investimentos de uma central termoeletrica a biomassa florestal (CTBF).

O objetivo principal é a produção de energia elétrica, com base num recurso renovável, eliminando assim o abandono de resíduos, que são grandes potenciadores de incêndios florestais.

O projeto inicia-se com uma caldeira de vapor que consome, biomassa florestal, ou outros resíduos provenientes da indústria da madeira ou equiparáveis. Esse vapor é conduzido a uma turbina, que produz a energia.

A CTBF será projetada de forma que a potência a injetar no ponto de receção seja de 11 MVA considerando um fator de potência 0,93. Em seguida, Tabela 10, é apresentada indicadores de produção da central relativos à potência total instalada e potência a injetar no ponto receção:

Tabela 10 - Potência Total a Instalar e Potência a Injetar no Ponto de Receção [Fonte: [48]]

Potência Total a Instalar	
Potência Bruta (Potência nos bornes do gerador)	11,85MW
Consumos auxiliares da Central (% potência total)	12,10%
Rendimento do Transformador Elevador	99,20%
Potência do lado de Alta Tensão do Transformador Elevador	10,83 MW
Linha	
Perdas na Linha (%)	1,80%
Ponto Receção	
Potência máxima a injetar no ponto de receção (MW)	10,23 MW
Fator de Potência	0,93
Potência máxima a injetar no ponto de receção (MVA)	11 MVA

4.1.2 Cronograma do projeto

Ao fim da adjudicação, o projeto estender-se-á por um período total de 27 anos e 3 meses. Neste período acontecerá fases do desenvolvimento do projeto a fase de construção e conceção da CTBF e a de exploração, que corresponde ao horizonte de conceção do direito de injeção de potência elétrica no serviço elétrico público.

As principais datas das fases já referidas são:

- Fase de conceção e construção da CTBF
 - Elaboração de estudos e projetos, lançamento de concurso público para conceção e construção e levantamento de financiamento - duração prevista de 6 meses;
 - Avaliação de propostas e construção - duração prevista de 18 meses;
 - Pré-arranque de exploração da CTBF - duração prevista de 3 meses.
- Fase de Exploração da CTBF
 - Exploração - duração prevista de 25 anos.

4.2 Contas de Exploração

4.2.1 Produção de Energia Elétrica

A estimação da quantidade de energia a ser vendida à rede elétrica, são efetuados pelas seguintes formulas de cálculo:

- *Horas de Operação* = $[Dias\ de\ Operação\ (365/ano) * 24h * Disponibilidade\ (90\%) - N^o\ dias\ de\ paragem\ programada * 24h]$
- *Produção Elétrica Bruta* = $[Potência\ Bruta\ (11,85\ MW) * Horas\ de\ Operação]$
- *Autoconsumos* = $[Produção\ Elétrica\ Bruta * 12,10\%]$
- *Perda na Linha* = $[(Produção\ Elétrica\ Bruta - Autoconsumos) * 1,80\%]$
- *Energia Elétrica Exportado para a Subestação* = $[Produção\ Elétrica\ Bruta - Autoconsumo - Perda\ na\ linha]$

Em alternativa, o valor da energia elétrica exportada para a subestação poderá ser calculado pela seguinte expressão:

- *Energia Elétrica Exportada para a Subestação* = $[Horas\ de\ Operação * Potência\ a\ injetar\ na\ rede\ (11,23\ MW)]$

Com recurso às fórmulas anteriores e à Tabela 11, é possível apresentar os valores estimados para produção de energia elétrica para os primeiros anos de atividade, até atingindo a velocidade de cruzeiro e para o último ano de exploração que estão explanados na Tabela 12.

Tabela 11 - Horas de Operação [Fonte: [48]]

Horas de Operação						
	2012	2013	2014	2015	...	2036
Dias de Operação	365	365	365	365	...	365
Dias de Paragens Programadas	10	10	10	10	...	10
Disponibilidade Energética	80%	85%	90%	90%	...	90%
Horas de Operação a Potência Nominal	6.816	7.242	7.668	7.668	...	7.668
Horas de Paragem	240	240	240	240	...	240

Tabela 12 - Produção de Energia Elétrica [Fonte: [48]]

Produção de Energia Elétrica						
(kWh/ano)	2012	2013	2014	2015	...	2036
Produção Elétrica Bruta	80.766,481	85.814,386	90.862,291	90.862,291	...	90.862,291
Autoconsumos	9.772,744	10.383,541	10.994,337	10.994,337	...	10.994,337
Produção Energia Elétrica	70.993,736	75.430,845	79.867,954	79.867,954	...	79.867,954
Perdas na Linha (transformação e Elevação)	1.272,208	1.351,721	1.431,234	1.431,234	...	1.431,234
Energia Elétrica Exportada para Subestação	69.721,529	74.079,124	78.436,720	78.436,720	...	78.436,720

4.2.2 Proveitos de Exploração

O contrato de adjudicação para a construção e exploração da CTBF confere a garantia de venda da energia elétrica a uma tarifa estabelecida de acordo com Decreto-Lei n.º 225/2007 ([49]), será anualmente atualizado em função da evolução do Índice de Preços no Consumidor para o continente, exceto habitação (IPC). Com base na estimativa para os preços de venda e a quantidade de energia que se prevê produzir, a Tabela 13 apresenta a evolução do volume de negócios (VN).

Tabela 13 - Volume de Negócios [Fonte: [48]]

Volume de Negócios							
		2012	2013	2014	2015	...	2036
Preço da Energia	C€/kWh	10.86	11.18	11.51	11.80	...	19.82
Produção de Energia	kWh/ano	69.721,529	74.079,124	78.436,720	78.436,720	...	78.436,720
Volume de Negócios	€/ano	7.569,884	8.281,886	9.029,316	9.255,049	...	15.544,613

4.2.3 Custos de Exploração

Os custos de exploração referentes ao funcionamento da CTBF, são nomeadamente custos de estrutura, consumos diretos e custos com pessoal. Os

de consumos diretos apresentam uma natureza variável sendo que os outros dois custos, são essencialmente custos fixos.

4.2.3.1 Custos de consumos diretos

São consumos diretamente incorporados no processo de produção da energia elétrica, ou seja: consumo de biomassa, gásóleo, eletricidade, água da rede, água industrial, água desmineralizada, reagentes, transporte e deposição de cinzas em aterro e manutenção de edifícios e equipamentos.

4.2.3.2 Custos com pessoal

O quadro do pessoal será composto por 16 funcionários, distribuídos por 5 escalões de renumeração. Na Tabela 14 são demonstradas as categorias profissionais e a renumeração base mensal.

Tabela 14 - Quadro de Pessoal [Fonte: [48]]

Categorias	N.º de Trabalhadores	Renumeração Base Mensal
Gestor de Fábrica	1	3.500,00€
Gestor de Manutenção	1	2.500,00€
Serralheiro	1	1.500,00€
Eletricista	1	1.500,00€
Operários	6	750,00€
Vigilância	4	750,00€
Administrativos	2	1.000,00€
Total	16	

Os custos anuais com pessoal incluem: 14 meses de vencimento, seguro de acidentes trabalho, outros custos, subsídio de alimentação e encargos patronais com a segurança social. As retenções de impostos serão efetuadas com uma taxa média para o IRS de 15%, para a segurança social da gerência 10% e o restante pessoal 11%. O valor das renumerações será atualizado anualmente, Tabela 15 apresenta essa mesma atualização ao longo dos anos.

Tabela 15 - Custos com o Pessoal [Fonte: [48]]

(euros)	2012	2013	2014	2015	...	2036
Vencimentos						
Gerência/administração	51.742	53.035	54.361	55.720		93.587
Pessoal	221.751	227.295	232.977	238.801		401.084
Encargos	63.661	65.253	66.884	68.556		115.145
Seguros Acid. Trabalho	2.735	2.803	2.873	2.945		4.947
Subsídio Alimentação	24.160	24.764	25.383	26.018		43.699
Outros custos com pessoal	2.735	2.803	2.873	2.945		4.947
Total Custos	366.784	375.954	385.352	394.986		663.408

4.2.3.3 Custos de Estrutura

Estes custos dividem-se por um conjunto de rubricas de funcionamento e serviços externos (FSE). Estão incluídos os custos com o programa de seguros previstos para a CTBF como (Tabela 16):

Tabela 16 - Custos de Estrutura [Fonte: [48]]

(euros)	2011	2012	2013	2014	...	2036
Custos administrativos		25.343	25.976	26.626	...	45.838
Comunicações		6.336	6.494	6.656	...	11.460
Limpeza, Higiene e Conforto		12.671	12.988	13.313	...	22.919
Marketing e comunicação – arranque	12.362	12.671			...	
Marketing e comunicação			6.494	6.656	...	11.460
Deslocações e estadias		3.168	3.247	3.328	...	5.730
Carros de serviço		12.671	12.988	13.313	...	22.919
Programas de formação – arranque	24.725	25.343			...	
Programas de formação – contínua			6.494	6.656	...	11.460
Trabalhos especializados					...	
Consultores Financeiros		12.671	12.988	13.313	...	22.919
Consultores Técnicos/Ambientais		25.343	25.976	26.626	...	45.838
Assistência Técnica		12.671	12.988	13.313	...	22.919
Seguros					...	
Danos Elementares		19.933	20.431	20.942	...	36.053
Avarias Mecânicas		79.830	81.826	83.872	...	144.391
Perdas de Exploração		17.789	19.462	21.219	...	36.530
Ambiental		3.872	3.969	4.068	...	7.004
Total Custos Estrutura	37.087	270.237	252.245	259.821	...	447.440

4.3 Análise de Sensibilidade

Após as análises de sensibilidade às variáveis consideradas críticas, através da medição da sensibilidade dos indicadores de viabilidade económico financeira por meio da medida de elasticidade e, testar a reação do desempenho do projeto a cenários de forte stress.

Elasticidade do VAL às variáveis críticas:

Deve ser interpretada como a variação percentual expetável no VAL em resultado da variação percentual unitária de cada uma das variáveis consideradas. As variáveis cuja elasticidade foram testadas são: tarifa de venda da energia elétrica, preço da biomassa, preço gasóleo, preço da deposição das cinzas em aterro, preço do transporte das cinzas, valor do investimento corpóreo e incorpóreo e produção elétrica bruta.

Em relação ao investimento, num cenário de atraso do início da construção e consequente derrapagem no tempo de projeto, será razoável admitir a existência de risco de preço nas rubricas do investimento. Foi ainda, testado cenários de evolução desfavorável/favorável do preço das rubricas do investimento em 10%.

Assim o VAL do projeto é bastante sensível ao valor do investimento em imobilizado corpóreo, sendo a elasticidade de -5,37, por cada subida de 1p.p. no custo do investimento o VAL do projeto prejudica-se em 5,37p.p..

Tabela 17 - Elasticidade do VAL ao Valor do Investimento em Imobilizado Corpóreo [Fonte: [48]]

Cenário	Pessimista	Central	Otimista
Investimento em Imobilizado Corpóreo	31.070.600	28.246.000	25.678.182
Variação Preço	+10,00%		-10,00%
TIR Projeto	9,00%	10,08%	11,18%
VAL Projeto	2.466.949€	5.325.359€	7.918.184€
TIR Acionista	10,52%	12,43%	14,55%
VAL Acionista	1.723.515€	4.070.368€	6.403.974€
Elasticidade VAL Projeto	-5,37		-5,36

Tabela 18 - Elasticidade do VAL ao Valor do Investimento em Imobilizado Corpóreo [Fonte: [48]]

Cenário	Pessimista	Central	Otimista
Investimento em Imobilizado Corpóreo	2.816.000	2.560.000	2.327.273
Variação Preço	+10,00%		-10,00%
TIR Projeto	10,00%	10,08%	10,15%
VAL Projeto	5.132.591€	5.325.359€	5.500.043€
TIR Acionista	12,28%	12,43%	12,61%
VAL Acionista	3.950.532€	4.070.368€	4.287.279€
Elasticidade VAL Projeto	-0,36		-0,36

Relativamente ao rendimento da produção, medida através da Produção Elétrica Bruta apresenta-se bastante elevada o que demonstra que o risco associado à produção é bastante sensível.

Tabela 19 - Elasticidade do VAL ao Valor da Produção Elétrica Bruta [Fonte: [48]]

Cenário	Pessimista	Central	Otimista
Produção Elétrica Bruta	82.602.082	90.862.291	99.948.520
Variação Produção Elétrica Bruta	-10,00%		+10,00%
TIR Projeto	8,71%	10,08%	11,48%
VAL Projeto	1.478.601€	5.325.359€	9.541.685€
TIR Acionista	9,99%	12,43%	15,03%
VAL Acionista	908.443€	4.070.368€	7.691.293€
Elasticidade VAL Projeto	7,95		7,92

No que diz respeito ao valor da tarifa da energia elétrica, a sensibilidade do VAL é bastante elevada (8,19 – 8,16), significa que por cada diminuição de 1p.p. no valor da tarifa será esperado que o VAL do projeto caia 8,19p.p..

Tabela 20 - Elasticidade do VAL à Tarifa de Venda da Energia Elétrica [Fonte: [48]]

Cenário	Pessimista	Central	Otimista
"Fator Z" – cálculo da tarifa	7,45	8,20	9,02
Variação do "Fator Z"	-10,00%		+10,00%
TIR Projeto	8,67%	10,08%	11,53%
VAL Projeto	1.358.342€	5.325.359€	9.673.237€
TIR Acionista	9,94%	12,43%	15,16%
VAL Acionista	861.001€	4.070.368€	7.872.452€
Elasticidade VAL Projeto	8,19		8,16

É no preço da biomassa florestal, o principal combustível de produção da energia, que o desempenho do projeto é mais sensível. Mesmo num cenário de agravamento do preço da biomassa face ao cenário central de 10%, o projeto ainda cria valor. Nos restantes preços dos fatores de produção, a elasticidade do VAL é insignificante, pois é aceitável pelo peso que apresenta na estrutura de custos da CTBF.

Tabela 21 - Elasticidade do VAL ao Preço da Biomassa [Fonte: [48]]

Cenário	Pessimista	Central	Otimista
Preço da Biomassa	31,02	28,20	25,64
Variação do Preço da biomassa	+10,00%		-10,00%
TIR Projeto	8,89%	10,08%	11,11%
VAL Projeto	1.970.720€	5.325.359€	8.366.330€
TIR Acionista	10,37%	12,43%	14,35%
VAL Acionista	1.383.366€	4.070.368€	6.733.182€
Elasticidade VAL Projeto	-6,30		-6,28

Teste de Cenários de Stress

Este teste traduz a reação da sensibilidade do projeto a variações adversas mais extremas, tais como cenários de variação de vários fatores em simultâneo.

Inicialmente agravou-se, em simultâneo, o preço de vários fatores de produção; posteriormente, juntou-se um agravamento dos custos de investimento e, por fim, somou-se uma redução no nível de atividade.

Os valores de referência são os seguintes:

- Avaliação na Perspetiva do Projeto – VAL= 5.325.359 e TIR= 10,08%
- Avaliação na Perspetiva do Acionista – VAL= 4.070.368 e TIR= 12,43%

Com um agravamento em 10% simultâneo no preço da biomassa, do preço da deposição das cinzas em aterro, do preço do transporte e do preço do gasóleo:

- Avaliação na Perspetiva do Projeto – VAL= 1.838.753€ e TIR= 8,84%
- Avaliação na Perspetiva do Acionista – VAL= 1.224.370€ e TIR= 10,25%

Ao agravamento dos fatores produção, junta-se o agravamento do valor do investimento em 10%:

- Avaliação na Perspetiva do Projeto – VAL= -1.234.719€ e TIR= 7,73%
- Avaliação na Perspetiva do Acionista – VAL= -1.482.650€ e TIR= 8,08%

Por fim é somado aos agravamentos estudados anteriormente uma redução de 10% na produção de Energia Elétrica Bruta.

- Avaliação na Perspetiva do Projeto – VAL= -4.853.006€ e TIR= 6,41%
- Avaliação na Perspetiva do Acionista – VAL= -4.660.306€ e TIR= 5,59%

4.4 Análise de Mercado Regional de Biomassa Florestal

Neste projeto já foi demonstrado que o mercado de biomassa se apresenta num crescimento acelerado. No global a procura da biomassa situava-se sensivelmente nos 500 000 ton/ano.

O mercado de biomassa apresenta uma baixa procura, isto é, o número de consumidores é baixo, mas são consumidores de grandes quantidades. Assim é possível identificar e definir a matriz de segmento no mercado de biomassa florestal (Tabela 22) [48].

Tabela 22 - Matriz de Segmento de Mercado de Biomassa Florestal [Fonte: [48]]

Segmentos de Mercado	Segmento 1	Segmento 2	Segmento 3	Segmento 4
Funções Servidas	Biomassa como combustível para produção de energia	Integração de biomassa no produto final; biomassa como combustível para produção de energia	Biomassa como combustível para produção de energia	Biomassa como combustível para produção de energia
Grupos de Clientes	Centrais Termoelétricas	Woodpellets	Cimenteiras	Pasta de Papel
Tecnologias Utilizadas	Incineração/ Gaseificação	Incineração	Incineração	Outras

Na região de Miranda do Corvo, foi possível verificar que apenas da responsabilidade do município e no presente ano, decorre trabalhos de gestão de combustíveis numa área de 178,25ha, havendo 68,20ha que será redução de densidade excessiva.

Ainda sob responsabilidade do município, mais próximo dos aglomerados populacionais e zona industrial, são realizadas intervenções numa área total de 31,037ha, havendo 11,54ha acontecerá a redução de densidade excessiva.

4.4.1 Rendimento da biomassa na Região

Ao longo deste trabalho já foram vistas as equações de biomassa, que permitiriam o cálculo da estimativa de biomassa por espécie, o que daria em média perceber o recurso disponível e modelação da produtividade florestal.

Para efetuar o cálculo ao certo estas quantidades seria necessário medir o diâmetro de todas as árvores e a sua altura, aplicando de seguida as respetivas

equações consoante a espécies. Após a consulta do IFN6 existe já um levantamento quer dos volumes por espécie, quer da quantidade disponível de biomassa por espécie, que é apresentado na Tabela 23 e Tabela 24 respetivamente. Sendo que para a espécie de eucalipto todas as árvores com diâmetro inferior a 5cm, e para as restantes espécies com diâmetro inferior a 7,5cm não foram contabilizadas.

Com esta informação de aproximação, é possível verificar quantidade de recurso disponível que possa sustentar a central em toda a região de Coimbra, independentemente da localização exata da central [47].

Tabela 23 - Volume por Espécie na Região de Coimbra [Fonte: [47]]

Região de Coimbra	Volumes por Espécie					
	Espécie	Volume em crescimento		Volume Mortas	Volume Existente	
		k m ³	Erro%	k m ³	k m ³	Erro%
	Pinheiro-bravo	6888,9	±16,3	459,9	7348,9	±15,9
	Eucaliptos	7193,3	±17,1	15,5	7208,8	±17,1
	Sobreiro	222,4	±0,5	6,4	228,8	±0,5
	Carvalhos	204,8	±11,5	2,1	206,9	±11,4
	Pinheiro-Manso	250,9	±22,2	17,8	268,8	±20,6
	Castanheiro	99,3	±9,2	8,8	108,1	±9,6
	Acácias	495,2	±14,6	-0,2	495,0	±14,5
	Outras folhosas	898,5	>40	8,7	907,2	>40
	Outras resinosas	293,3	±28,7	3,9	297,2	±28,6
	Total: floresta	16546,7		523,1	17069,8	

Tabela 24 - Biomassa por Espécie na Região de Coimbra [Fonte: [47]]

Região de Coimbra	Biomassa por Espécie							
	Espécie	Biomassa viva		Biomassa Morta			Total	
		árvore	sobcoberto	Arv.em pé	Arv. caída	Cepos		folhada
	Pinheiro-bravo	4640,7	469,0	282,1	33,6	13,0	2,5	5440,9
	Eucaliptos	5743,3	702,4	10,0	33,9	25,0	3,0	6517,6
	Sobreiro	312,1	0,2	0,0	0,8	0,0	0,0	313,2
	Carvalhos	257,8	12,4	0,0	0,2	0,4	0,1	270,9
	Pinheiro-Manso	360,5	10,4	30,0	0,3	0,2	0,0	401,4
	Castanheiro	165,3	1,3	11,3	0,8	0,0	0,0	178,7
Acácias	649,6	9,5	0,0	2,0	0,4	0,1	661,6	
Outras folhosas	1113,9	75,1	13,3	0,0	0,0	0,6	1203,0	
Outras resinosas	195,4	7,6	0,0	0,0	0,4	0,1	203,5	
Total: floresta	13438,8	1287,9	346,7	71,7	39,4	6,5	15190,8	

4.4.2 Principais operadores do Sector na Região

Na região existem empresas que já se encontram a laborar neste mercado, mais concretamente nas operações realizadas, antes de chegar à central, nomeadamente, trituração e transporte. Estes operadores poderão ser os elos fundamentais de abastecimento à central. Será essencial uma boa gestão comercial e preço competitivo, pois estes operadores estão no mercado algum tempo, onde já tem contratos e benefícios com outras indústrias para o fecho da biomassa. Podendo então, estes operadores serem igualmente os maiores concorrentes, após uma análise dos principais operadores, concluímos que existe uma grande oferta destes, desde a mais pequena empresa à mais bem estruturada com diversos equipamentos e até mesmo com capacidade de aluguer dos mesmos, para trabalhos em parceria. Em seguida é apresentado alguns desses operadores, da região de Miranda do Corvo e da Lousã.

BIOPOWER, Lda. – tem como atividade principal a exploração florestal, procede a reduções de densidade, desbaste seletivos, trituração de sobrantes. Tem uma elevada capacidade trituração e de armazenamento, posteriormente vende esses resíduos para produção de energia, como para produção de pellets.

Briosatitude – Exploração Florestal Lda. – tem como atividade principal a exploração florestal, silvicultura e outras atividades florestais. Compra, venda e permuta de bens imobiliários e revenda dos adquiridos para esse fim, tem como data de constituição o ano 2011.

Selvoportuna Exploração Florestal, Unipessoal Lda. – empresa mais recente no mercado apresentando a sua atividade principal na área de exploração florestal, designadamente abate e corte de árvores; silvicultura e outras atividades florestais; comercialização de madeiras e outros produtos derivados.

Verde Constante – Comércio de Madeiras Unipessoal Lda. – empresa já com uma vasta experiência, com data de constituição o ano 2010. Atua na exploração florestal, comércio de madeira em bruto e seus derivados.

Raízes e Rituais – Exploração Florestal Unipessoal Lda. – atua igualmente na exploração florestal e atividades relacionadas com silvicultura.

5. Opções Tecnológicas

5.1 Motores de combustão interna

Estes motores são conhecidos por executar processos de conversão através dos ciclos termodinâmicos que envolvem a expansão, compressão e mudança de temperatura de gases. Utilizam os próprios gases como fluido de trabalho; são estes que realizam então a compressão, a expansão e exaustão [56].

Os ciclos termodinâmicos mais utilizados em centrais térmicas, consoante a tecnologia são os seguintes:

- Ciclo motor de Otto - caracterizado pela ignição por faísca externa, sendo feita com a mistura de ar com combustível;
- Ciclo motor de Diesel - muito parecida com o ciclo de Otto; a sua ignição é por compressão; o ar inserido não se mistura com o combustível e somente este é comprimido, podendo suportar pressões mais elevadas;
- Ciclo Brayton - apresenta uma construção simples, muito utilizada em turbinas a gás; é um ciclo que opera em regime permanente [55].

Esta opção tecnológica não foi de todo planeada para a implementação desta central visto que irá ter como combustível fixo a biomassa, estando refletido uma tecnologia de cogeração, ao ser utilizada uma turbina a vapor e, por consequência não adequada a motores de combustão interna.

5.2 Motores de combustão externa – Motores Stirling

Os motores Stirling apresentam um elevado rendimento energético; obtém a sua energia a partir de uma fonte externa de calor. No presente estudo será a partir da queima da biomassa florestal.

Este motor trabalha com um ciclo termodinâmico com composição de quatro fases e executado em dois tempos de pistão. O funcionamento deste motor consiste no aproveitamento da variação da pressão de um fluido [51].

Segundo foi possível apurar são bastante eficazes no caso de a central utilizar o processo de gaseificação da biomassa ou num ciclo combinado; assim, poderá ser uma alternativa bastante atrativa de forma a gerar eletricidade com uma eficiência bastante elevada e igualmente com níveis bastante baixos de emissões [54].

As vantagens associadas a estes motores são: poluição reduzida, pelo fato de a combustão ser constante, permitindo uma queima completa e eficiente do combustível; ser uma opção mais silenciosa; não apresentar grandes vibrações, pois não ocorre combustão no seu interior; apresentar uma eficiência global de 30%, no caso de operar num sistema de cogeração, o que pode apresentar uma eficiência praticamente total, que ronda os 90% [53].

Existindo assim a possibilidade de trabalharem gerando potência elétrica e água aquecida, com sistema de refrigeração, pode aumentar a sua eficiência, o que pode ser bastante atrativo ter um motor Stirling como máquina na geração de eletricidade de baixa potência [53].

No contexto do atual projeto, e após uma pesquisa mais aprofundada de alternativas tecnológicas que possam vir a ser implementadas, surge a proposta de proceder à substituição direta da turbina a vapor, por um motor Stirling, ou até mesmo conseguir simplificar a ligação do motor Stirling à turbina aproveitando e maximizando o rendimento térmico que advém desta.

Porém, no que concerne à produção de energia elétrica, apresenta um baixo rendimento, daí ser pouco utilizado. No entanto foi possível apurar que um motor Stirling aplicado numa micro-cogeração (residência familiar) atingiu um valor máximo de 35 kW_{el} e de 140 kW_{te}; estes valores são de um modelo que usa a biomassa como combustível [55]; face a estes resultados importa equacionar o seu desenvolvimento em aplicações de maior dimensão. Como é o caso de um outro estudo realizado por duas partes num edifício de escritórios, foram aplicadas diversas estratégias de forma avaliar qual tornaria mais rentável, tendo como base de combustível a biomassa, os resultados obtidos foram satisfatórios e conseguindo ainda que fosse possível vender o excedente de produção elétrica [58].

Sabe-se ainda que estes motores, atualmente, estão a ser implementados e estudados como opções em coletores solares apresentando um rendimento na ordem dos 60% a 90% [57].

De forma a poder-se aumentar o rendimento de produção destes motores poderia ser utilizado como fluído interno o Hélio ou o Hidrogénio, em vez do usual ar, pois estes dois componentes permitem uma maior condutividade térmica, baixa viscosidade e massa volúmica, o que permite reduzir as perdas por atrito. Quanto às centrais de cogeração com combustível de biomassa, ainda não há grandes dados disponíveis onde esteja a ocorrer essa implementação; contudo, após alguma avaliação sobre os motores, surge a ideia de criar essa alternativa, ou, pelo menos, ponderar a sua alternativa, visto que a presente central não iria ultrapassar o máximo de produção dos 9MW a 10MW.

5.2.1 Tipos de Motores Stirling

Existem três grupos que classificam estes motores; esta classificação surge em conformidade com a configuração segundo a qual são dispostos os pistões, dando assim origem aos tipos alfa, beta e gama:

- Alfa - tem dois cilindros separados, onde um pistão é responsável pela expansão do fluído, ou seja, pela produção do movimento mecânico e o outro pistão é responsável pela compressão e descompressão. Nos cilindros apresentam ainda permutadores de calor, sendo que no de expansão está o aquecedor e no

de compressão está o dissipador e o regenerador apresenta-se entre os permutadores [52], (Figura 19).

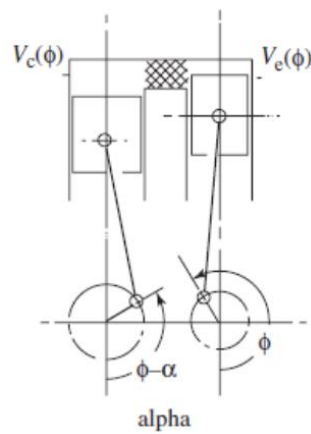


Figura 19 - Representação esquemática do motor Stirling tipo alfa [Fonte:[51]]

- Beta - neste caso, apresenta apenas um único cilindro que é responsável pela compressão e expansão. Neste, o fluido vai movimentar um componente designado como deslocador; assim, o pistão e o deslocador estão num único cilindro [52], (Figura 20).

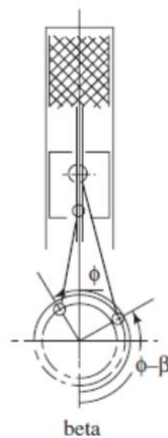


Figura 20 - Representação esquemática do motor Stirling tipo beta [Fonte: [51]]

- Gama - é em todo semelhante ao Beta, sendo que o deslocador é montado num cilindro diferente, tornando o mecanismo Gama mais simples [52], (Figura 21).

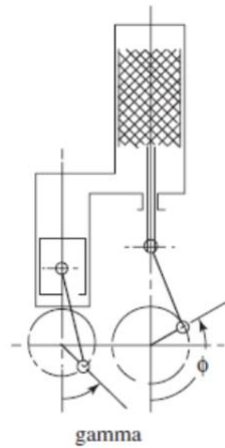


Figura 21 - Representação esquemática do motor Stirling tipo Gama [Fonte: [51]]

5.3 Propostas de soluções

Tendo por base o que anteriormente foi descrito, a Figura 22 apresenta um exemplo esquemático de como poderá ser introduzido a opção tecnológica de substituição direta da turbina a vapor pelo motor Stirling.

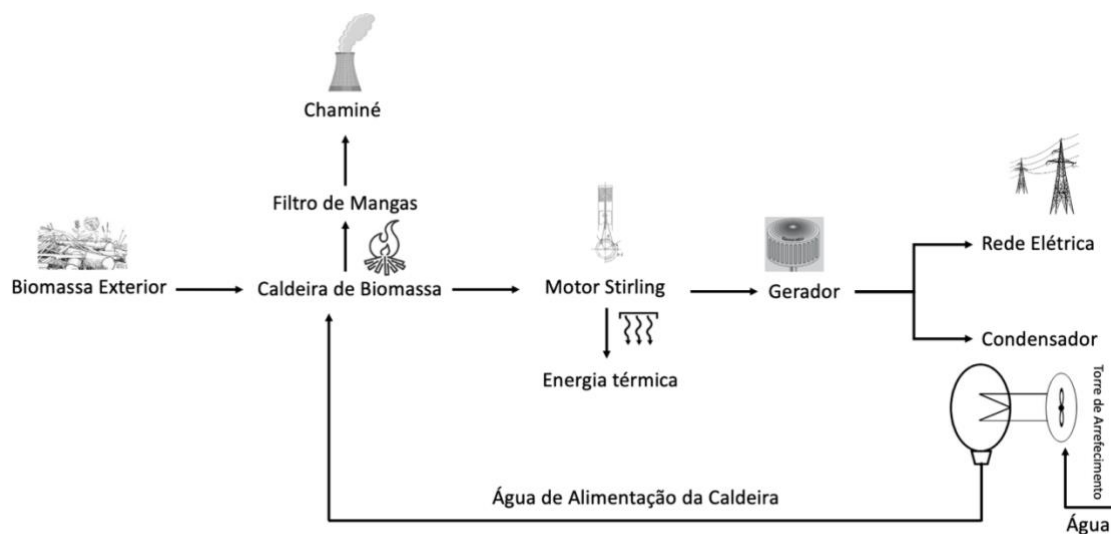


Figura 22 - Exemplo Esquemático de opção tecnológica - substituição direta

Na Figura 23 temos o exemplo esquemático de uma possível agregação do motor Stirling à turbina a vapor podendo aumentar rendimento na libertação do calor. Salvaguardando que esta esquematização não é pormenorizada, no que diz respeito a todas ligações e componentes, sendo meramente ilustrativas.

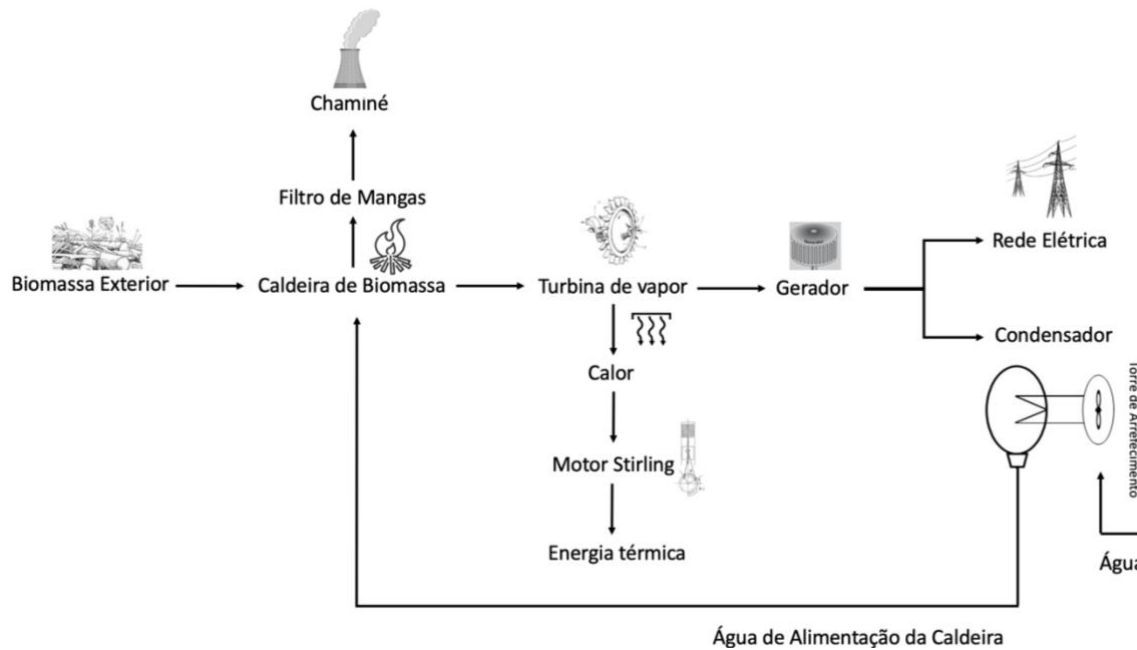


Figura 23 – Exemplo Esquemático de opção tecnológica – agregação de motor stirling

Posto isto, sabe-se que o motor stirling está implementado em diversos tipos de edifícios, com diversas estratégias de forma avaliar o melhor rendimento, e a sua implementação em construções de maior produção e dimensão.

Um desses dados foi um ensaio realizado no laboratório de Sistemas Técnicos na Universidade Federal de Itajubá, onde o motor tinha como características: configuração gama de 500W de potência e o líquido interno funcionava ar pressurizado. Foi possível observar como resultados que a potencia desse motor varia entre 350W a 500W. No entanto foi utilizado como combustível para acionar o motor, GPL e não biomassa [59].

Um outro exemplo das diversas análises é o uso de um motor stirling movido a biomassa para um prédio de escritórios com uma área útil de 511m². Neste caso o motor utilizado teria uma potência de 7kW. Aqui surgiu várias opções de sistemas, isto é, consoante a necessidade do edifício é necessário adaptar o tipo de motor o sistema, tendo-se concluído que o um motor com 8kW seria mais eficiente, mas também mais dispendioso, embora ocorre-se a possibilidade de revender a produção em excesso [58].

Como já foi possível verificar a eficiência do motor depende muito da pressão e essencialmente da temperatura usada para acionar o motor, neste exemplo da Universidade Técnica da Dinamarca foi realizado testes à utilização de cavacas de lenha para acionar um motor de 35kW, teve a funcionar ao longo de 800 horas, tendo atingindo um potencia de 28kW e uma eficiência de 18% a 20%, tendo sido considerado um resultado satisfatório [53].

Numa outra análise sabe-se que os motores que estão disponíveis para a energia elétrica varia de potencia entre 500W a 50kWel. A Universidade Técnica

da Dinamarca apresenta um protótipo de um motor de quatro cilindros, trabalha com 40 bar de hélio, e uma potência de 40kWel, contudo atingiu apenas os 36kWel, quando submetido a testes autónomos. No entanto após vários fatores no projeto da mesma universidade, foi criada uma terceira versão do motor com potência de 35kWel, este foi integrado num circuito de combustão secundária, a fim de obter condições de manutenção mais simples. Onde nas primeiras 5000 horas do motor, este atingiu uma média de 31kW e eficiência interna de 20% [60].

Após análise dos casos já implementados e eficiências obtidas, a proposta de agregação do motor poderá ser mais vantajosa, por haver maior aproveitamento do calor gerado e então a energia térmica ser mais aproveitada, pois verifica-se que o motor stirling tem uma maior eficiência no que refere à energia térmica, aliando ao benefício anterior descrito, sabe-se que será mais vantajoso até na questão de manutenção e durabilidade do próprio motor, não havendo a possibilidade de baixo rendimento por questões de deposição de cinzas entre outros (Tabela 25), (Figura 24).

Tabela 25 - Resumo de tecnologias e suas eficiências

Conversão da biomassa	Tecnologia	Tipo de Ciclo	Eficiência	Manutenção	Estágio de desenvolvimento
Combustão direta	Caldeira + Turbina a vapor	Combinado Simples	80% 20% - 40%	Baixo custo e reduzida	Disponível comercialmente
	Caldeira + Motor Stirling	Combinado	18% - 30%	Elevado custo e frequente	Em desenvolvimento (incipiente)
	Caldeira + Turbina a vapor + Motor Stirling	Combinado	80% - 90%	Custo razoável e reduzida	Em desenvolvimento (incipiente)

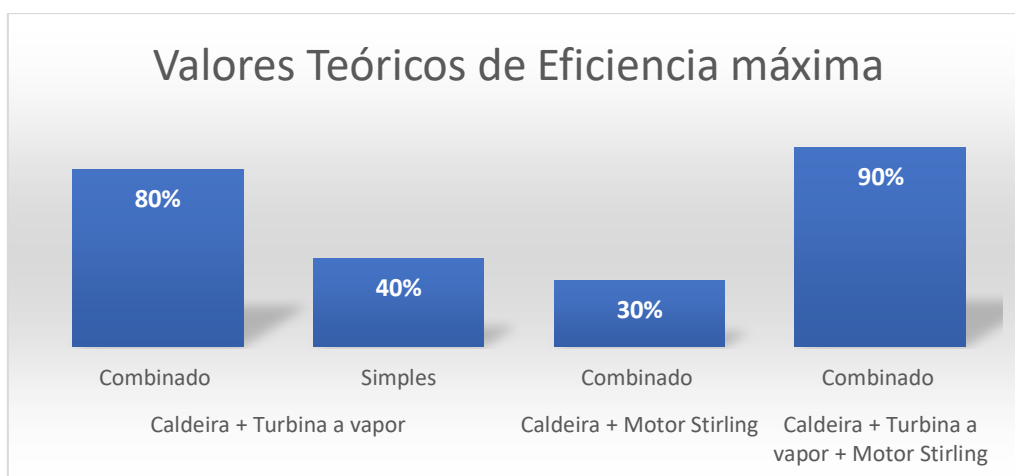


Figura 24 - Valores Teóricos de eficiência máxima

Tendo em conta a Tabela 25 e a Figura 24 podemos verificar que, até ao momento, a tecnologia “Caldeira + Turbina a vapor” é a que tem o maior estágio de desenvolvimento, e que o tipo de ciclo de maior eficiência é o combinado, aproximadamente 80%.

Embora os outros tipos de tecnologia ainda estejam numa fase embrionária, somos da opinião de que podem ser melhorados e constituírem uma real opção para o futuro, nesta área de conhecimento.

6. Resultados e Limitações

O valor do projeto depende da criação do fluxo de caixa, isto é, da entrada e saída de dinheiro, para isso é utilizado metodologias de avaliação dinâmicas, que identificam o posicionamento estratégico e competitivo, projetando assim a sua atividade de acordo com evolução macroeconómica e setorial.

O valor atual líquido, corresponde ao somatório dos fluxos de caixa livres descontados somado de um valor terminal.

A taxa interna de rentabilidade, corresponde à taxa de desconto para a qual o VAL se anula, poderá ser entendida como a taxa de renumeração mínima exigida pelo acionista ou pela totalidade dos investidores no projeto.

A elasticidade, deve ser interpretada como a variação percentual expectável para o indicador em resultado da variação percentual unitária variável para qual a elasticidade está a ser calculada.

Foi apresentado os indicadores em duas perspetivas, na do projeto e na dos acionistas. Assim o VAL na perspetiva do projeto é de 5.325.359€ e uma TIR de 10,08%, enquanto na perspetiva dos acionistas o VAL é de 4.070.368€ e uma TIR de 12,43%.

Sendo então estes os valores centrais, após terem sido realizadas diversas simulações, apresentadas no capítulo anterior, foi possível verificar que ainda assim o projeto cria sempre valor, mesmo em cenários mais desfavoráveis.

Ao longo do trabalho realizado, e consoante os objetivos propostos, houve dois tipos de limitações: as inerentes à qualidade da informação utilizada e os pressupostos e cenários considerados.

A quantificação da biomassa produzida está apenas relacionada com a exploração da indústria da madeira e não como recurso energético. O que leva só a focar num tipo de árvores com características de comercialização, e fica de parte árvores, que apesar do seu valor comercial ser nulo, poderão ser aproveitadas e valorizadas energeticamente. A produção de biomassa oriundo dos desbastes também varia consoante o ano de desbaste e o número de árvores envolvidas no desbaste, bem como a biomassa oriunda das operações de silvicultura, numa primeira fase seria um volume elevado.

A solução para esta limitação seria realizar um levantamento do coberto florestal, no local, esta recolha iria permitir não só desenvolver o trabalho com dados atuais e representativos. Havendo ainda a possibilidade de calibrar e utilizar equações empíricas de biomassa, utilizando nomeadamente para o cálculo da produção de biomassa, e adaptando ainda para a realidade local. No terreno deveria ser recolhida informação a nível das variáveis dendrométricas, altura e diâmetro, bem como o peso do material recolhido, que permitiria determinar a humidade e seguida o poder calorífico da biomassa florestal.

Quanto aos valores dos custos associados às operações fulcrais da produção da biomassa, poderá ocorrer alguma discrepância com os valores mais atuais. Esta situação poderia ser resolvida com uma recolha de informação junto de diversas empresas. Sendo que o preço relativo à operação de trituração é possivelmente o mais atual, foi questionado diretamente a uma exploração de madeira do interior do país, que contrata este tipo de serviço.

No que toca a opções tecnológicas, surge a ideia de substituir diretamente a turbina por motor stirling, no entanto não havendo grande informação que sustente esta sugestão concreta ao caso em estudo, tendo sido apenas possível chegar à mesma por associações lógicas e assumindo assim o risco de não ser possível a sua concretização.

7. Conclusões e Trabalho Futuro

Com o trabalho realizado, foi possível apresentar uma análise ao potencial de biomassa que pode ser produzido nas operações de manutenção florestal, bem como uma análise logística e económica e financeira da implementação de uma central de biomassa.

Pelas características obvias referentes à implementação de uma central, podemos concluir a que este tipo de projeto tem associadas limitações como: constrangimentos a nível ambiental e económicas.

No que diz respeito aos constrangimentos ambientais, temos todo o processo inicial de licenciamento e autorizações para a construção da central, muitas vezes não muito facilitado devido a possíveis impactes e se o mesmo não for bem justificado. Temos também a questão da sustentabilidade da floresta, logo é fulcral limitar a quantidade de biomassa que deverá ser retirada, de forma a restringir a pressão ambiental. Assim sendo a recolha deverá também obedecer às boas práticas florestais.

Sendo que a limitação com maior peso é o económico, pois trata dos custos das operações afetas à exploração do recurso, para o projeto ter viabilidade, os custos de produção deverão ser minuciosamente controlados. Assim é importante obter informação rigorosa sobre a disponibilidade da biomassa. Contudo o caso de estudo utilizado permitiu perceber que este projeto tem viabilidade económica e poder de criação de valor, que faz com que a sua implementação seja bastante possível.

Embora o presente estudo não responda assertivamente à quantidade real de biomassa disponível, nem os custos associados, fornece uma ideia do trajeto que deverá ser percorrido. O projeto ao mencionar as suas limitações, fornece também os pontos onde numa próxima fase, deve se concentrada todos os esforços a fim de as resolver.

Este projeto permite ainda verificar que as centrais são uma oportunidade de dinamização local e principalmente de economias rurais, com a criação de emprego e fixação de população em zonas por vezes abandonadas pela falta de emprego. Faz ainda que ocorra um desenvolvimento do sector florestal e das boas práticas.

Permite ainda relançar uma questão sobre as opções tecnológicas a utilizar nas centrais de biomassa, podendo obter maiores rendimentos elétricos, para isso será importante compreender melhor a tecnologia stirling implementada numa central de biomassa com fim de produção eletricidade, estudando assim a sua fiabilidade mais intensivamente. Poderá ser opção, numa próxima conseguir

calcular a capacidade de abastecimento para uma aldeia típica de xisto e assim torna-las também atrativas a nível de sustentabilidade ambiental.

8. Referências Bibliográficas

- [1] Decreto – Lei nº 5/2011 de 10 de Janeiro. Diário da República nº6 – 1º Série. Ministério da Economia da Inovação e do Desenvolvimento. Lisboa.
- [2] Decreto – Lei nº 64/2017 de 12 de Junho. Diário da República nº 113 – 1º Série. Economia. Lisboa.
- [3] Decreto – Lei nº 48/2019 de 12 de Abril. Diário da República nº 73 – 1º Série. Presidência do Conselho de Ministro. Lisboa.
- [4] Decreto – Lei nº 120/2019 de 22 de Agosto. Diário da República nº 160 – 1º Série. Presidência do Conselho de Ministro. Lisboa.
- [5] Portaria nº 76/2021 de 1 de Abril. Diário da República nº 64 – 1º Série. Ambiente Ação Climática. Lisboa.
- [6] Ambiente Magazine (2020, 21 Maio). “Aprovado Plano Nacional Energia Clima 2021-2030”. Acedido em Maio de 2020, em https://www.ambientemagazine.com/aprovado-plano-nacional-energia-e-clima-2021-2030/?fbclid=IwAR1TwaOIHXsF1aJDID0_HwyEh1mJkOeixV
- [7] Ambiente Magazine (2020, 19 Maio). “Não tenho dúvidas nenhuma que a Floresta tem que gerar rendimentos”. Acedido em Maio de 2020, em <https://www.ambientemagazine.com/nao-tenho-duvida-nenhuma-que-a-floresta-tem-que-gerar-rendimento/?fbclid=IwAR2SXXtl-MwtwnBj0tM4jlr9>
- [8] Rede energética Nacional, SGPS, S.A. (2019). Dados Técnicos REN. Lisboa
- [9] Energias Renovables (2020, 16 Abril). “Menos diesel e muito mais biomassa para maior oliva da Europa”. Acedido em Abril de 2020, em https://www.energias-renovables.com/biomasa/menos-gasoil-y-muchamas-biomasa-para-20200416?utm_campaign=newsletterEnergiasRenova
- [10] Entidade Nacional para o Setor Energético (ENSE), (2020, 26 Fevereiro). “O Regime das Centrais dedicadas a biomassa florestal”. Acedido em

Março de 2020, em <https://www.ense-epe.pt/news/o-regime-das-centrais-dedicadas-a-biomassa-florestal/>

- [11] Projeto Enersilva. (2007). “Enersilva – Promoção do uso da biomassa florestal para fins energéticos no sudoeste da Europa (2004-2007)”. Acedido em Março de 2020, em <http://enersilva.navegantes.info/areasubir/resultados/Enersilva%20Portugues.pdf>
- [12] CELPA, (2004). “Centrais elétricas de biomassa Uma opção justificável?”. Acedido em 24 de Março 2020, em http://www.energiasrenovaveis.com/images/upload/Biomassa_uma_opcao_justificavel.pdf
- [13] Centro de Biomassa para a Energia (CBE), (2008, 10 Abril). “Avaliação dos custos de aproveitamento da biomassa florestal”. Acedido em Março 2020, em https://www.drapc.gov.pt/base/geral/files/avaliacao_custos_aprov_biomassa.pdf
- [14] The Navigator Company, (2018). “Aproveitamento da biomassa”. Acedido em Março 2020 em <https://docplayer.com.br/53543900-A-importancia-da-biomassa-na-the-navigator-company.html>
- [15] Guerra, M.D., Ribeiro, S. (2019). Relatório do Estado do Ambiente 2019. Agência Portuguesa do Ambiente, Lisboa. Acedido em Abril de 2020, em <https://rea.apambiente.pt/content/ultimaedicao>
- [16] Plano Nacional Energia e Clima 2021-2030 (PNEC 2030), (2019, Dezembro). Acedido em Junho 2020, em <https://www.portugalenergia.pt/setor-energetico/bloco-3/>
- [17] Agência Portuguesa do Ambiente (APA), (2018, Dezembro). “Roteiro para a Neutralidade Carbónica-2050”. Acedido em Junho 2020, em <https://descarbonizar2050.apambiente.pt/>
- [18] Câmara Setorial da Cadeia Produtiva de Florestas Plantadas, (2017, Junho). “Produção de energia a partir da biomassa de madeira”. Brasília. Acedido em Julho, em <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/camaras-setoriais-tematicas/documentos/camaras->

[setoriais/florestas-plantadas/2017/35a-ro/app biomassa 35ro florestas.pdf](#)

- [19] Direção Geral de Energia e Geologia, (2020, Julho). “Renováveis – Estatísticas rápidas-nº187”. Acedido em Julho de 2020, em <https://www.dgeg.gov.pt/pt/estatistica/energia/publicacoes/estatisticas-rapidas-das-renovaveis/>
- [20] Magalhães, M^a. C., Cameira, M^a. C., Pato, R. L., Santos, F., Bandeira, J. (2011). “Biomassa florestal residual: efeitos da sua remoção na qualidade do solo.” Revista de Ciências Agrárias [online]. 2011, vol.34, n.2 pp.205-217.
- [21] Brand, M. A. (2017). “Potencial de uso da biomassa florestal da Caatinga, sob manejo sustentável, para geração de energia”. Ciência Florestal, Santa Maria, vol.27, n.1, p. 117-127.
- [22] Quaak, P., Knoef, H., Stassen, H. “Energy from biomass, a review of combustion and gasification technologies”. The World Bank Washington, D.C. World bank technical paper no. 422. 1999, p. 100.
- [23] Demirbas, A. “Combustion characteristics of different biomass fuels” Prog. Energy Combust. Sci., vol. 30, no. 2, pp. 219–230, 2004.
- [24] Rodrigues, V.P. (2009). “Análise de custos para diferentes soluções de transporte de biomassa florestal”. Tese de Mestrado em Engenharia Mecânica, Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade de Aveiro, Aveiro.
- [25] Saião, M^a. G. C. M. (2009). “Implementação de uma Central a Biomassa. Análises de sustentabilidade Ambiental e Económica”. Dissertação para Mestre em Engenharia do Ambiente, Instituto Superior Técnico, universidade Técnica de Lisboa, Lisboa.
- [26] Guilhermino, A. J. C. (2014). “Avaliação do aproveitamento de resíduos da biomassa florestal da região Alto Alentejo, nas perspetivas logística, económica e financeira.” Projeto de Mestrado em Empreendedorismo e Gestão de PME, Escola Superior de Tecnologia e Gestão, Instituto Politécnico de Portalegre, Portalegre.

- [27] Faria, C. I. S. (2016). “Setor da biomassa para combustíveis em Portugal: estudo dos custos logísticos associados à exportação pellets”. Dissertação para Mestre em Engenharia e Gestão Industrial, Universidade da Beira Interior, Covilhã.
- [28] Marques, A. L. M. (2015). “Utilização Energética da biomassa em Portugal: caso de estudo da Tratolixo”. Dissertação para Mestre em Engenharia e Gestão Industrial, Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa.
- [29] Fernandes, P. I. C. (2015). “Estudo da Biomassa Florestal Residual Consumida em Centrais Termoelétricas” Dissertação para Mestre em Mestrado Integrado em Engenharia da Energia e do Ambiente, Departamento de Engenharia Geográfica, Geofísica e Energia, Universidade de Lisboa. Lisboa.
- [30] Netto, C. P. C. A. (2008). “Potencial da biomassa florestal residual para fins energéticos de três concelhos do distrito Santarém”. Dissertação para Mestre em Engenharia do Ambiente, perfil Gestão e Sistemas Ambientais, Departamento de Ciências e Engenharia do Ambiente, Faculdade de Ciências e Tecnologias, Universidade Nova de Lisboa. Lisboa.
- [31] Jesus, J. (2016). “Projeto da Central a Biomassa de 10 MW, em Corga de Fradelos, Vila Nova de Famalicão”. Estudo de Impacte Ambiental, vol. 2 – Relatório.
- [32] Tecninvest. (2016). “Central Termoelétrica a Biomassa – estudo de Impacte Ambiental”. Relatório.
- [33] Manwell, J. F., McGowan, J. G. e Rogers, A. L. (2002). “Wind Energy Explained Theory, Design and application”. University of Massachusetts, Amherst, USA.
- [34] Pordata. (2020). “Energias Renováveis no balanço energético” Acedido em Julho 2020, em <https://www.pordata.pt/DB/Portugal/Ambiente+de+Consulta/Tabela>
- [35] Pordata. (2018). “Superfície: total e por tipo de utilização”. Acedido em Julho 2020, em

<https://www.pordata.pt/DB/Portugal/Ambiente+de+Consulta/Tabela>

- [36] Pordata. (2020). “Produção energia elétric: total e a partir de fontes renováveis” Acedido em Julho 2020, em <https://www.pordata.pt/DB/Portugal/Ambiente+de+Consulta/Tabela>
- [37] Hernández, C. S., Jiménez, L. D. e García, J. A. B. (2018). “Potencial of Energy Production from Slaughterhouse Waterwater”. Vol. 43, nº8. México.
- [38] Câmara Municipal de Miranda do Corvo. (2020). “Plano Municipal Defesa Floresta Contra Incêndios”. Caderno II – Plano de Ação. Acedido em Setembro 2020, em <https://cm-miradadocorvo.pt/pt/menu/495/plano-municipal-de-defesa-da-floresta-contraincendios.aspx>
- [39] Câmara Municipal de Miranda do Corvo. (2019). Cartografia do Caderno I. Acedido em Setembro 2020, em https://cm-miradadocorvo.pt/upload_files/1/1/Planos/PMDFCI_consulta/02_Cartografia_Caderno_I.pdf
- [40] Câmara Municipal de Penela. (2014). “Plano Municipal de Defesa da Floresta Contra Incêndios”. Diagnóstico – Informação de Base – Caderno I. Acedido em Setembro 2020, em <https://www.cm-penela.pt/artigo-232-0>
- [41] Mendes, A. (2019). “Há um enorme potencial para a biomassa em Portugal, diz a secretária-geral da EUBCE”. Jornal Económico, on-line. Acedido em Abril 2020, em <https://jornaleconomico.sapo.pt/noticias/ha-um-enorme-potencial-para-a-biomassa-em-portugal-diz-secretaria-geral-da-eubce-449383>
- [42] Ferreira, J. P. (2019). “É importante que Portugal tenha mais de uma centena de centrais a biomassa”. Jornal Económico, on-line. Acedido em Abril 2020, em <https://jornaleconomico.sapo.pt/noticias/e-importante-que-portugal-tenha-mais-de-uma-centena-de-centrais-a-biomassa-455628>
- [43] Des(A3)nho. (2013). Esquema de uma central de biomassa para a produção de calor e eletricidade. Acedido em Setembro 2020, em <https://desa3nho.wordpress.com/2013/02/19/esquema-de-central-de-biomassa-para-producao-de-calor-e-electricidade/>
- [44] Carvalho, J. M. C., et al. “Logística e Gestão da Cadeia de Abastecimento”. Sílabo. Lisboa: 2ª Edição, 2017, p.722.

- [45] Correia, A. V., Oliveira, A. C. (2003). “Principais espécies florestais com interesse para Portugal – zona com influência Atlântica”. Direção-Geral das Florestas, Lisboa.
- [46] Lima, F.C. (2005). “Silvicultura do Pinheiro Manso – Apanha Mecânica”. Logística florestal.
- [47] Instituto da Conservação da Natureza e das Florestas (ICNF). (2019). “6º Inventário Florestal Nacional – Anexo Técnico”. Lisboa.
- [48] Freitas, C.J.P. (2009). “Central Termoelétrica a Biomassa Florestal (CTBF)”. II Relatório de Avaliação.
- [49] Decreto-Lei nº225/2007 de 31 Maio. Diário de República nº105 – 1ª Série. Ministério de Economia e da Inovação. Lisboa.
- [50] Decreto-Lei nº117/2010 de 25 outubro. Diário de República nº207. Ministério de Economia, da Inovação e do Desenvolvimento. Lisboa.
- [51] Rodrigues, N.D.R.P. (2017). “Sistema de Microgeração de Energia com Base num Motor Stirling”. Dissertação para obtenção do grau Mestre em Engenharia Mecânica, Departamento de Engenharia Mecânica, Instituto Superior de Engenharia de Lisboa.
- [52] Vieira, R.O. et, Magalhães, L.F.C. (2015). “Estudo de um ciclo Stirling utilizando energia solar”. Projeto de graduação para obtenção do título de Engenheiro Mecânico, Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Espírito Santo. Vitória.
- [53] Wilke, H. et Lora, E.E.S. (2004). “Desenvolvimento de um modulo combustor biomassa-motor stirling aplicado a sistemas de geração isolada e baseados em gerador de indução”. An.5. Enc. Energ. Meio Rural. Acedido em Maio de 2020, em http://www.proceedings.scielo.br/scielo.php?pid=msc000000022004000100046&script=sci_arttext
- [54] Cobas, V.R.M. et Lora.E.S. (2002). “Geração de eletricidade a partir da biomassa com tecnologias avançadas de geração distribuída”. An. 4. Enc. Energ. Meio Rural. Acedido em Maio de 2020, em

http://www.proceedings.scielo.br/scielo.php?pid=MSC0000000022002000200004&script=sci_arttext&tlng=pt

- [55] Costa, J.M.S. (2013). “Metodologia simplificada para a análise termodinâmica de sistema de cogeração em motor stirling” Tese de Mestrado para obtenção de Grau Mestre em Engenharia Mecânica, da Escola de Engenharia, da Universidade do Minho.
- [56] Wikipédia. “Motores de combustão interna”. Acedido a 26 julho em: https://pt.wikipedia.org/wiki/Motor_de_combust%C3%A3o_interna
- [57] Dos Santos, M.R.C. (2012). “Estudo de um Sistema de Cogeração com motor Stirling e Concentrador Solar”. Relatório de Projeto Final para obtenção de Grau Mestre em Engenharia Mecânica, da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.
- [58] Harrod, J., Mago, P. J. et Luck, R. (2010). “Sizing analysis of a combined cooling, heating, and power system for a small office building using a wood waste biomass-fired stirling engine”. Int. J. Energy Res. 2012; **36**: 64-74.
- [59] Barros, R. W., Aradas, M. E. C., Cobas, V. R. M. et Lora, E. E. S. (2004). “Uso de Biomassa como Combustível para Acionamento de Motores Stirling”. An.5. Enc. Energ. Meio Rural. Acedido em Outubro 2020, em http://www.proceedings.scielo.br/scielo.php?pid=MSC0000000022004000200060&script=sci_arttext&tlng=pt.
- [60] Schneider, T., Muller, D. et Kar, J. (2020). “A review of thermochemical biomass conversion combined with Stirling engines for the small-scale cogeneration of heat and power”. Acedido em Outubro 2020, em <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1364032120305761>
- [61] Fernandes U, Costa M. “Potential of biomass residues for energy production and utilization in a region of Portugal. Biomass and Bioenergy” 2010; 34:661 – 6.
- [62] Nivala M, Anttila P, Laitila J, Salminen O, et Flyktman M. “A GIS-Based Methodology to Estimate the Regional Balance of Potential and Demand of Forest Chips”. Journal of geographic Information System, 2016;8:633-662.