

AVALIAÇÃO DO POTENCIAL PRODUTIVO DE BIOMASSA DE RESÍDUOS AGRÍCOLAS NO ALENTEJO EM FUNÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS DO SOLO

Dissertação para obtenção do grau de mestre em
Tecnologias de Valorização Ambiental e Produção de Energia

Eveline Vanessa Borges Andrade

DISSERTAÇÃO PARA OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE

Curso: **Mestrado em Tecnologia de Valorização Ambiental e Produção de Energia**

Docente/Orientador: Prof. Doutor Paulo Brito

Coorientador: Doutor António Cordeiro

Ano Letivo: 2021 | 2022

Janeiro | 2023

AVALIAÇÃO DO POTENCIAL PRODUTIVO DE BIOMASSA DE RESÍDUOS AGRÍCOLAS NO ALENTEJO EM FUNÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS DO SOLO

Eveline Vanessa Borges Andrade

Dissertação apresentada ao Instituto Politécnico de Portalegre, ESTG, como requisito parcial à obtenção do grau de Mestre em Tecnologias de Valorização Ambiental e Produção de Energia, sob a orientação do Professor Doutor Paulo Brito (ESTG) e do Doutor António Cordeiro (INIAV).

“Talvez não tenha conseguido fazer o melhor,
mas lutei para que o melhor fosse feito. Não
sou o que deveria ser, mas Graças a Deus, não
sou o que era antes.”

(Marthin Luther King)

Dedico este trabalho,

A minha filha, tudo por ti e para ti;

Aos meus pais por tudo o que sempre me deram;

E aos meus irmãos por acompanharem me em todos os momentos;

Agradecimentos

Primeiramente agradeço a Deus que permitiu que tudo isso acontecesse, foi ele que levantou minha cabeça e me deu forças para não desistir nos momentos mais difíceis;

Agradeço a todos os professores, especialmente ao meu orientador Prof. Dr. Paulo Brito, com o qual tive a honra de trabalhar durante o período de formação do mestrado, obrigado professor, por exigir de mim muito mais do que eu imaginava ser capaz de fazer. Manifesto aqui a minha eterna gratidão por compartilhar sua sabedoria, seu tempo e sua experiência. Assim como ao Dr. Eng.^o Agrónomo António Cordeiro, que foi meu coorientador durante a realização deste trabalho, muito obrigada pelo seu tempo, paciência, dedicação, disponibilidade na ajuda da recolha das amostras e em esclarecer algumas fases da experiência durante o trabalho experimental. Aprender com esses senhores com certeza foi um grande privilégio e acredito também ser o início de uma grande parceria;

Agradecimentos a diretora da Escola Superior Agrária de Elvas, Prof^a. Dra. Rute Santos pela oportunidade de receber me na vossa instituição para a realização dos ensaios. A Dr.^a Carla Barreto, Ana Batista e a Eng.^a Maria Paula Rasquilha, técnica responsável pelo Laboratório de Química Agrícola, muito obrigada pelo vosso tempo, por todo o apoio, companhia na realização das análises, por explicarem sempre o porquê das coisas e por me fazerem sentir tão bem acolhida na vossa cidade. Nada disto seria concretizado sem a vossa ajuda;

Agradeço de forma especial a Dr.^a Eng.^a Aldina Soares que contribuiu acentuadamente na realização deste trabalho, esteve muito presente, foi bastante prestativa e dedicou-me muito a sua atenção, a ti a minha eterna gratidão. A minha amiga Geografa Mestre Iriene Marques, ao Hélder Fernandes e a professora Susana Dias pela ajuda com a COS/QGIS na inventariação da biomassa. Muito obrigada por toda a paciência, força, incentivos e apoio incondicional;

A consolidação deste trabalho também não seria possível sem a valiosa oportunidade oferecida pelo INIAV que me concedeu a bolsa, ao IPPortalegre por disponibilizar as infraestruturas e os meios que permitiram a realização deste trabalho;

Agradeço aos funcionários da INIAV do Pólo de Elvas que estiveram comigo durante coletas de campo, meu muito obrigado;

Eu não poderia deixar de agradecer aos funcionários do Instituto Politécnico de Portalegre em especial ao professor Dr. Artur Romão pela compreensão, apoio e afeto prestado, a Helena Morgado dos Serviços da ação social no qual sou eternamente grata pelo apoio que me foi prestado logo no início, aos colegas Luís Calado, Roberta Panizio, Catarina Nobre, Otávio Alves, Gonçalo Lourinho e Margarida Santos;

Também não poderia deixar de agradecer a minha prima Dra. Gisela Borges no qual sou eternamente grata, por toda a ajuda logo no início deste grande desafio. Ao antigo Diretor do Ensino Superior de Cabo Verde, o Dr. Aquilino Varela por me apresentar o IPP e por todas as palavras de forças e conforto logo no início. Aos meus amigos Wilson Nobre e Isac Carvalho que estiveram comigo e de alguma forma ajudaram na realização deste trabalho;

Aos meus queridos irmãos e melhores amigos, Keven Andrade e Keila Andrade, por me terem ouvido nos momentos mais difíceis e serem tão companheiros;

Aos meus pais Avelino Andrade e Ana Mafalda Borges Tavares por todo o esforço, empenho e por cuidarem tão bem da minha pequena durante a minha ausência;

Obrigada a todos, pelos conselhos e as risadas que partilharam comigo nessa etapa tão desafiadora da vida académica também fizeram toda a diferença;

Resumo

Os combustíveis fósseis são a principal fonte de energia. O fato de serem uma fonte não renovável, aos efeitos negativos sobre o meio ambiente associados com o aumento da população mundial e as elevadas necessidades, obrigam a procurar fontes alternativas e sustentáveis. A biomassa vegetal, um subproduto da produção agrícola, é uma fonte disponível em grandes quantidades e poderá ser uma alternativa/ complementar às outras fontes de energia renovável.

Este trabalho apresenta uma avaliação do potencial produtivo da biomassa agrícola na região do Alentejo. Caracterizou-se os parâmetros físico-químicos do solo que influenciam a produtividade agrícola, bem como à inventariação da produtividade da biomassa nos três distritos do Alentejo e à caracterização de diferentes biomassas para avaliar o potencial de produção da energia, em particular biocombustíveis gasosos que possam ser utilizados em motores diesel em modo *dual fuel*.

Para a estimativa de produtividade da biomassa foram utilizadas imagens Satélite Sentinel-2 do Sensor MSI com uma resolução espacial de 10 m, utilizadas para a classificação das classes de ocupação do solo e o cálculo do índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI). O resultado do cálculo do potencial produtivo da biomassa mostrou que no Alentejo se obtém uma boa quantidade de biomassa agrícola e o distrito de Beja apresentou-se como o de maior produtividade de biomassa logo seguido pelos distritos de Évora e Portalegre. No distrito de Portalegre, concelho de Elvas estimou-se em cerca de 15 237 ton/ano a biomassa agrícola produzida e que é capaz de gerar 14 825 MWh de energia elétrica, correspondente a 20% de energia elétrica total atualmente consumida no concelho.

Para a caracterização do solo, analisaram-se amostras do solo recolhidas em parcelas experimentais do INIAV, Pólo de Inovação de Elvas na Herdade da Comenda com culturas anuais e na Herdade do Reguengo com culturas do olival. Os resultados analíticos determinados no Laboratório da ESA de Elvas revelaram que os parâmetros estão em conformidade com o Manual de Fertilização do solo e com a classificação FAO e na classificação SROA/ CNROA/IEADR. Os valores dos índices nutricionais em macronutrientes comparados com os valores de referência, não condicionam a produtividade das culturas.

Para o aproveitamento energético da biomassa agrícola pela tecnologia da gaseificação, fez-se a caracterização das biomassas agrícolas recolhidas na mesma área de estudo do solo. A caracterização baseou-se na análise imediata, elementar e Poder calorífico Superior, e os resultados demonstraram que as biomassas analisadas não apresentaram risco ambiental nem necessidade de um pré-tratamento termoquímico; as biomassas da palha de trigo, cevada e centeio apresentam um baixo conteúdo carbónico e um baixo potencial energético e apenas a biomassas da poda de oliveira apresentou um conteúdo carbónico dentro da faixa esperada e um potencial energético considerável, com características adequadas para a produção de biocombustíveis usados em motores duo fuel.

Desta forma conclui-se que a biomassa de subprodutos agrícolas tem potencialidades para poder ser uma excelente fonte complementar de energia renovável. A biomassa da poda do olival destacou-se como a biomassa obtida em maior quantidade, com maior conteúdo energético e menor teor de humidade e é uma biomassa derivada de uma cultura que produzida em grande quantidade e se adapta a vários tipos de solo.

Palavras-Chave: Solo, Ocupação do solo, Detecção Remota, NDVI, Biomassa agrícola.

Abstract

Fossil fuels are the main source of energy. The fact that they are a non-renewable source, the negative effects on the environment associated with the increase in the world's population and the high needs, force the search for alternative and sustainable sources. Plant biomass, a by-product of agricultural production, is a source available in large quantities and could be an alternative/complementary to other sources of renewable energy.

This work presents an evaluation of the productive potential of agricultural biomass in the Alentejo region. The physicochemical parameters of the soil that influence agricultural productivity were characterized, as well as the inventory of biomass productivity in the three districts of Alentejo and the characterization of different biomasses to assess the potential for energy production, in particular gaseous biofuels that can be used in diesel engines in dual fuel mode.

To estimate biomass productivity, Satellite Sentinel-2 images from the MSI Sensor were used with a spatial resolution of 10 m, used for classifying land cover classes, and calculating the vegetation index by normalized difference (NDVI). The result of the calculation of the productive potential of biomass showed that in Alentejo a good amount of agricultural biomass is obtained, and the district of Beja presented itself as the one with the highest productivity of biomass, followed by the districts of Évora and Portalegre. In the district of Portalegre, municipality of Elvas, an estimated 15237 ton/year of agricultural biomass is produced, which can generate 149825 MWh of electricity, corresponding to 20% of the total electricity currently consumed in the municipality.

For the characterization of the soil, soil samples collected in experimental plots of the INIAV, Pole de Inovação de Elvas at Herdade da Comenda with annual crops and at Herdade do Reguengo with olive groves were analysed. The analytical results determined at the ESA Laboratory in Elvas revealed that the parameters are in accordance with the Soil Fertilization Manual and with the FAO classification and the SROA/CNROA/IEADR classification. The values of the nutritional indices in macronutrients compared with the reference values, do not condition the productivity of the cultures.

For the energy use of agricultural biomass by gasification technology, the characterization of agricultural biomass collected in the same soil study area was carried out. The characterization was based on immediate, elemental and Higher Calorific Power analysis, and the results showed that the analyzed biomass did not present an environmental risk or the need for a thermochemical pre-treatment; the biomass of wheat, barley and rye straw has a low carbon content and a low energy potential and only the biomass of olive tree pruning showed a carbon content within the expected range and a considerable energy potential, with suitable characteristics for the production of biofuels used in duo fuel engines.

In this way, it is concluded that the biomass of agricultural by-products has the potential to be an excellent complementary source of renewable energy. The olive tree pruning biomass stood out as the biomass obtained in greater quantity, with higher energy content and lower moisture content and is a biomass derived from a culture that is produced in large quantities and adapts to various types of soil.

Keywords: Land, Occupation of the Land, Remote Sensing, NDVI, Agricultural biomass,

Lista de Abreviaturas, Siglas e Símbolos

Siglas

SROA – Serviços de Reconhecimento e Ordenamento Agrário;

CNROA – Centro Nacional de Reconhecimento e Ordenamento Agrário;

IEADR – Instituto de Estruturas Agrárias e Desenvolvimento Rural;

FAO – *Food and Agriculture Organization of the United Nations*;

IUSS – *The International Union of Soil Science*;

GEE - Gases de Efeito de Estufa;

AAU - Área Agrícola Utilizada;

EU - União Europeia;

LNEG - Laboratório Nacional de Energia e Geologia;

INIAV - Instituto Nacional de Investigação Agrária e Veterinária;

SIG - Sistema de Informação Geográfica;

PNEC - Plano Nacional Energia e Clima;

RNC - Roteiro para a Neutralidade Carbónica;

DAP - Diâmetro a Altura do Peito;

COS - Carta de Ocupação do Solo;

CF - Carbono Fixo;

MV - Matéria Volátil;

PCS - Poder Calorífico Superior;

PCI - Poder Calorífico Inferior;

CSR - Culturas temporárias de sequeiro e regadio;

MO – Matéria Orgânica;

Fórmula Química

$C_5H_8O_4)_n$ - Hemicelulose

$(C_6H_{10}O_5)_n$ - Celulose

$C_9H_{10}(OCH_3)_{0,9-1,7}$ - Lignina

N_2O - Óxido de Nitrogénio

CH_4 - Metano

CH_3OH - Metanol

N_2 - Nitrogénio

Ni - Níquel

Unidades de medida

m^3 - metro cúbico

V - Volume

m_{comb} - massa do combustível

ω_{bs} - humidade na base seca

ρ_{ap} - Massa específica aparente

ρ_{H_2O} - Massa específica da água

bh - base húmida

bs - base seca

h_{LV} - Entalpia do calor latente de vaporização

MJ - Megajoule

N - Newton

ω - Humidade

ω_{bh} - Humidade na base húmida

$m_{Bio\ seca}$ - Massa da biomassa seca

m_{H_2O} - Massa de água

d - Densidade

d_{ap} - densidade aparente

°C - Grau celsius

F - Fahrenheit

% - Percentagem

atm - atmosfera, unidade de pressão

ppm – partes por milhão

ÍNDICE GERAL

ÍNDICE DE ANEXOS	xvi
ÍNDICE DE FIGURAS	xvii
ÍNDICE DE TABELAS	xix
INTRODUÇÃO.....	1
Enquadramento e Justificação do Tema	2
Objetivos Gerais e Específicos	3
Metodologia e Ferramentas Utilizadas	5
Estrutura Geral do Trabalho	5
CAPÍTULO I – ESTADO DA ARTE	7
1.1. Solo e a sua Qualidade	7
1.2. Carta de Solo e a sua classificação	11
1.3. Característica geral do solo para a produção agrícola.....	14
1.4. Biomassa.....	22
1.4.1. Fontes de Biomassa	25
1.4.2. Características e propriedades da biomassa	26
1.5. Tecnologias de conversão energética da biomassa	31
1.5.1. Processos de conversão termoquímica.....	32
1.6. Potencial da biomassa em Portugal e no mundo	34
1.6. Sistema de informação geográfica (SIG).....	37
1.6.1. Carta de uso e Ocupação do solo.....	38
1.6.2. Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI).....	39
1.7. Métodos de Estimação da Produção de Biomassa.....	40
1.7.1. Método Direto	41
1.7.2. Método indireto.....	41
CAPÍTULO II – METODOLOGIAS.....	46

2.1.	Caracterização da área de estudo	46
2.1.1.	Distrito de Portalegre.....	47
2.1.2.	Distrito de Évora	50
2.1.3.	Distrito de Beja	51
2.2.	Informação geográfica da produção de biomassa	52
2.2.1.	Metodologia de processamento de imagem.....	52
2.2.2.	Índice de Vegetação por Diferença Normalizada, NDVI	54
2.2.3.	Área efetiva	55
2.2.4.	Produtividade da biomassa	57
2.3.	Caracterização das propriedades físico-químicas dos solos	58
2.3.1.	Materiais para recolha das amostras do solo	58
2.3.2.	Metodologia para colheitas das amostras do solo	59
2.3.3.	Análise físico-química do solo	61
2.4.	Caracterização da composição da biomassa de diferentes culturas	67
2.4.1.	Materiais	67
2.4.2.	Metodologia	68
CAPÍTULO III – RESULTADOS E DISCUSSÃO		69
3.1.	Resultados.....	69
3.1.1.	Produtividade da biomassa em função do solo.....	69
3.1.2.	Caracterização do solo de Elvas.....	76
3.1.2.1.	Resultado da análise do Solo da Herdade de Comenda antes e depois da instalação da cultura – culturas anuais;	78
3.1.2.2.	Resultados da análise do solo na Herdade do Reguengo - olival	84
3.1.3.	Caracterização da biomassa recolhida	87
3.2.	Discussão	90
3.2.1.	Caracterização do solo/ Produtividade	90

3.2.2. Caracterização da biomassa	94
CONCLUSÃO	100
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	104
ANEXOS	114
Anexo 1: Tabelas dos valores da Análise dos solos	114
Anexo 2: Informação relativa aos solos	127
Anexo 3: Colheita da biomassa de podas de oliveira	129
Anexo 4: Biomassas rececionadas no IPP	130
Anexo 5: Exemplos de cálculos e expressão dos resultados da análise do solo	131
Anexo 6: Nomenclatura da carta de uso do solo de Portugal Continental	133

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1: Tabelas dos valores da Análise dos solos	114
Anexo 2: Informação relativa aos solos.....	127
Anexo 3: Colheita da biomassa de podas de oliveira	129
Anexo 4: Biomassas rececionadas no IPP.....	130
Anexo 5: Exemplos de cálculos e expressão dos resultados da análise do solo	131
Anexo 6: Nomenclatura da carta de uso do solo de Portugal Continental.....	133
Anexo 7: Informações do mapa de pH, teor de matéria orgânica, argila, limo, areia e capacidade de troca dos solos.....	139

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Perfil do solo com discriminação dos seus horizontes	8
Figura 2: Perfil hipotético do solo com discriminação dos seus horizontes.....	8
Figura 3: Mapa dos solos de Portugal segundo FAO/IUSS (versão simplificada).....	13
Figura 4: Nutrientes na solução do solo.....	14
Figura 5: Ciclo da erosão do solo no sistema de produção vegetal	22
Figura 6: Biomassa cresce absorvendo energia solar, CO ₂ e água por meio do processo de fotossíntese	24
Figura 7: Estrutura molecular da celulose	27
Figura 8: Exemplo de uma molécula hemicelulose e xilano.....	27
Figura 9: Algumas unidades estruturais da lignina.....	28
Figura 10: Enquadramento geográfico do território alentejano e da área em estudo	47
Figura 11: Localização do distrito de Portalegre e das áreas trabalhadas pelo projeto	50
Figura 12: Localização do distrito de Évora e das áreas trabalhas pelo projeto.....	51
Figura 13: Localização do distrito de Beja e das áreas trabalhas pelo projeto.....	52
Figura 14: Exemplo de Imagem de NDVI da área do estudo do distrito de Portalegre	55
Figura 15: Representação esquemática das colheitas de amostras de terra.....	59
Figura 16: Colheita das amostras de solo da Herdade da Comenda antes da Instalação das Culturas.....	60
Figura 17: Colheita das amostras de solo em culturas dos Olivais.....	61
Figura 18: Análise do pH das amostras	63
Figura 19: Determinação da matéria orgânica.....	64
Figura 20: Determinação do fósforo.....	65
Figura 21: Determinação do potássio, sódio, cálcio e magnésio extraíveis	66
Figura 22: Análise de textura de campo.....	66
Figura 23: Análise de elementos grosseiros.....	66
Figura 24: Distribuição geográfica das culturas agrícolas consideradas neste projeto	73
Figura 25: Distribuição geográfica do tipo de solo no concelho de Elvas.....	77
Figura 26: Resultado do pH do solo antes e depois da instalação das culturas.....	80

Figura 27: Resultado da condutividade do solo antes e depois da instalação das culturas	81
Figura 28: Resultado da matéria orgânica no solo antes e depois da instalação das culturas	82
Figura 29: Resultados do fósforo e potássio no solo antes da instalação das culturas	82
Figura 30: Resultados do cálcio e magnésio no solo antes e depois da instalação das culturas	83
Figura 31: Resultado do pH no solo do olival	84
Figura 32: Resultado da condutividade no solo do olival	85
Figura 33: Resultado da matéria orgânica no solo do olival	85
Figura 34: Resultado do fósforo e do potássio no solo do olival	86
Figura 35: Resultado do cálcio e Magnésio no solo do olival.....	87
Figura 36: Resultados da análise imediata das biomassas em estudo	87
Figura 37: Resultados da análise elementar da biomassa em estudo	90
Figura 38: Colheita dos resíduos das podas de Oliveira	129
Figura 39: Biomassa lenhocelulósica (subproduto vegetal de cevada).....	130
Figura 40: Biomassa lenhocelulósica (subproduto vegetal de trigo).....	130
Figura 41: Biomassa lenhocelulósica (subproduto vegetal de centeio).....	130
Figura 42: Biomassa lenhocelulósica (podas de Oliveira).....	130
Figura 43: Podas de oliveira triturada.....	130

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1: Organização dos objetivos específicos do Projeto	3
Tabela 2: Exemplos dos principais tipos de rochas.....	7
Tabela 3: Indicadores físicos, químicos e biológicos da qualidade do solo do ponto de vista agrónomico	16
Tabela 4: Separação da terra fina em diferentes lotes	17
Tabela 5: Designações da textura de campo e correspondentes classes de textura.....	17
Tabela 6: Classificação do pH (H ₂ O) do solo.....	19
Tabela 7: Classes de salinidade do solo e reação das culturas aos sais	20
Tabela 8: Composição química da madeira	29
Tabela 9: Potencial da energia derivada de resíduos agrícolas	37
Tabela 10: Revisão de fatores de biomassa agrícola encontrados na literatura.....	44
Tabela 11: Lista de solos colhidos na Herdade de Comenda	48
Tabela 12: Lista de solos colhidos nas parcelas de olivais.....	49
Tabela 13: Bandas espectrais do sensor MSI utilizadas no estudo.	53
Tabela 14: Dados usados na construção da base de dados SIG referente ao Alentejo.	54
Tabela 15: Requisitos de dados para zonagem digital por SIG da produção da biomassa no Alentejo	54
Tabela 16: Reclassificação do NDVI.....	56
Tabela 17: Valores da produtividade de resíduos (ton secas/ ha/ ano) de cada espécie em estudo.....	58
Tabela 18: Resultados da área efetiva de produção da biomassa agrícola (ha) por concelho no Distrito de Portalegre	70
Tabela 19: Resultados da área efetiva de produção da biomassa agrícola (ha) por concelho no Distrito de Évora.....	71
Tabela 20: Resultados da área efetiva de produção da biomassa agrícola (ha) por concelho no distrito de Beja	72
Tabela 21: Resultados da área efetiva de produção da biomassa agrícola (ha) no concelho Elvas.....	72
Tabela 22: Resultados da produtividade da biomassa agrícola (ton secas/ano) por concelho no distrito de Portalegre.....	74

Tabela 23: Resultados da produtividade da biomassa agrícola (ton/ano) no concelho Elvas	74
Tabela 24: Resultados da produtividade da biomassa agrícola (ton secas/ano) de cada concelho no distrito de Évora	75
Tabela 25: Resultados da produtividade da biomassa agrícola (ton secas/ano) por concelho no distrito de Beja	76
Tabela 26: Resultados das análises dos solos Herdade da Comenda, antes e depois da instalação das culturas.....	78
Tabela 27: Resultados da caracterização das biomassas selecionadas	88
Tabela 28: Principais agrupamentos de solos* do Alentejo ocupados por olival intensivo.....	127
Tabela 29: Estimativa da suscetibilidade de algumas unidades-solo a estes tipos de risco.....	128
Tabela 30: Nomenclatura da carta de ocupação do solo de Portugal Continental	133

INTRODUÇÃO

Todos sabemos que a energia oriunda de combustíveis fósseis é um dos principais motores da sociedade moderna. Desde a revolução industrial, primeiro com o carvão e depois com o petróleo, a energia é crucial para o funcionamento da nossa sociedade, faz parte de todos os setores da sociedade, como economia, trabalho, relações internacionais, habitação, transporte, lazer e alimentação, dado o desenvolvimento da economia, o aumento da população, os altos padrões de vida e os avanços tecnológicos, exigem um abastecimento adequado e confiável de energia [1].

Os combustíveis fósseis (carvão mineral, gás natural e petróleo), são considerados combustíveis não renováveis, ou se forem renováveis, só ocorrerá daqui a milhões de anos, escala de tempo em que a humanidade não o pode aproveitar, o que significa que as fontes se podem esgotar. Para além disso estes combustíveis fósseis têm um caráter muito poluente. Com a crise energética dos anos 70, procurou-se reduzir a dependência externa de energia e houve um crescimento de preocupação com o meio ambiente, em questões relacionadas com o aquecimento global, a chuva ácida e os resíduos radioativos, preocupações essas que nos assombram até o dia de hoje [1].

O aumento de utilização de combustíveis fósseis é um dos principais fatores que afetam o ambiente, aumentando o efeito de estufa que são uma parte natural da atmosfera, pois, sem esses gases (dióxido de carbono (CO_2), vapor de água (H_2O), óxido nitroso (N_2O), metano (CH_4), hexafluoreto de enxofre (SF_6), clorofluorocarbonetos (CFC), hidroclorofluocarbonos (HCFCs), hidrofluorocarbonos (HFCs)) a temperatura média da terra seria em torno de -20°C , [2]. E com a queima de combustíveis fósseis, estão a aumentar as concentrações dos GEE (gases efeito estufa), e quanto maior for a concentração desses gases, mais calor será aprisionado, aumentando assim a temperatura média da terra [2], e estabelecendo as alterações climáticas.

De acordo com UNEP, 2005 [2], a temperatura média global na superfície da Terra aumentou $0,6^\circ\text{C}$ ao longo do século XX. As consequências negativas deste fenómeno são as alterações climáticas responsáveis pelo degelo de massas glaciais, furacões

devastadores, desertificação de áreas férteis, propagação de doenças e pandemias, impacto na agricultura e na pecuária, etc.

Com tudo isto, fez com que se pensasse em fontes alternativas e sustentáveis de energia, como energias hidroelétricas, a biomassa, o vento (energia eólica), a energia fotovoltaica e a energia radiante solar para o aquecimento, a refrigeração e a produção de eletricidade [1]. As energias alternativas eólicas e solar são as respostas mais conhecidas, mas a bioenergia, que é a energia obtida através da biomassa está a despertar especial atenção no âmbito do PNEC 2030 (Plano Nacional Energia e Clima 2030) e RNC 2050 (Roteiro para a Neutralidade Carbónica 2050). Porque, pensa-se que pode ter vantagens por ser primeiramente, uma fonte renovável de energia fazendo parte do ciclo natural de carbono, é mais barata em comparação com os combustíveis fósseis.

Tal como as fontes de energias eólica e solar, as fontes de energias de biomassas estão também disponíveis em abundância, ou seja, de uma forma resumida a biomassa pode ser a solução para o reforço de outras fontes renováveis de energia, dado problema do excesso de resíduos (agrícolas, florestal, pecuário e municipal) assim é também uma forma de como lidar com o descarte dos resíduos através da valorização desses resíduos de forma a contribuir para melhorar a sustentabilidade ambiental e dos recursos naturais [3].

É urgente encontrar fontes de energia alternativas e que não tenham impacto negativo na Terra, que reduza o uso de aterros e incineradoras, melhorando o solo que estão desprovidos de nutrientes e reduzir a dependência de fertilizantes minerais importados.

Enquadramento e Justificação do Tema

O presente trabalho tem uma grande importância no sector da bioenergia na região do Alentejo, onde o uso da biomassa residual derivada de resíduos agrícolas e resíduos sólidos urbanos tem grande potencial e pode colmatar as discontinuidades de abastecimento energético derivadas das fontes eólica e solar. Sendo a biomassa em

estudo resultante da atividade agrícola, a sua produção depende fortemente das condições do solo, e mesmo que o solo possua grandes quantidades de nutrientes, com o tempo e com sucessivas plantações, isso diminui. Por isso, é de extrema importância conhecer o tipo de solo e assim saber como tirar o melhor aproveitamento desse recurso tão importante para a agricultura. Através de uma análise físico-química do solo, conseguimos saber o(s) nutriente(s) em falta para produção de uma determinada cultura que se pretende e isso, conseqüentemente, acaba por influenciar a qualidade e a quantidade da biomassa. Pois, um solo degradado é suscetível a erosão e põe em causa o desenvolvimento da cultura e requerer maior aplicação de fertilizantes, que acaba sendo uma desvantagem no rendimento do agricultor.

Objetivos Gerais e Específicos

O principal objetivo deste trabalho consiste em estabelecer a relação entre a produtividade da biomassa e as características do solo e avaliar a caracterização das biomassas para uma possível valorização energética através da tecnologia da gaseificação. Mais especificamente, os objetivos deste trabalho encontram-se detalhados na tabela 1.

Tabela 1: Organização dos objetivos específicos do Projeto

TAREFA	OBJETIVOS	METAS
Revisão bibliográfica	Obtenção de informação para uma maior compreensão do tema em geral	Elaboração de enquadramento teórico
Caracterização das propriedades físico-químicas dos solos	Identificação do tipo de solo dos seus constituintes na área de estudo e a sua influência	Avaliar o solo analisado

	no desenvolvimento da biomassa	
Quantificação e caracterização das biomassas das culturas	Identificação das propriedades da biomassa em estudo	Analisar o impacto da biomassa caracterizada na tecnologia da Gaseificação por avaliação das propriedades das biomassas
SIG da produção de biomassa no concelho de Elvas e nos Distritos de Beja, Évora e Portalegre, por sobreposição de informação sobre as necessidades edáficas das culturas indicadas	Identificação da área efetiva e a produtividade de cada espécie em estudo e nos concelhos dos 3 Distritos	Comparar a área efetiva estimada (COS) com os dados da INE e a Produtividade das culturas com o tipo de solo
Organização da dissertação	Descrição teórica e prática do Estudo	Finalização do trabalho

Metodologia e Ferramentas Utilizadas

Relativamente a análise do solo e a caracterização da biomassa, utilizou-se o método de análise disponível no laboratório da Escola Superior Agrária de Elvas, chama de *Pacote de Terras*, designadamente: textura de campo, pH (H₂O), pH (KCl), condutividade, matéria orgânica, fósforo extraível (P₂O₅), potássio extraível (K₂O), cálcio extraível, magnésio extraível, descrita no capítulo 2 e para a Análise Elementar, Análise Imediata e Poder Calorífico respetivamente utilizou-se os um analisador elementar Flash Thermo CHNS-O 2000, um equipamento de termogravimétrica TGA STA6000 PerkinElmer e de um calorímetro IKA C200, estes equipamentos estão disponíveis no Instituto Politécnico de Portalegre, ESTG.

A ferramenta de análise SIG utilizado foi o “*QuantumGIS*” (QGIS), que é um *software open-source* gratuito e transversal a vários sistemas operativos e que pertence à *Open Source Geospatial Foundation*. Exige menor capacidade de RAM e recursos do computador em relação a outros programas não gratuitos (ArcGIS). Foi desenvolvido em 2002 e é continuamente atualizado e corrigido por voluntários. O programa permite visualizar, sobrepor camadas matriciais e vetoriais de diferentes origens e formatos sem a necessidade de converter para um formato interno. Permite explorar e criar mapas vetoriais (pontos linhas e polígonos) e matriciais (raster), entre outros.

Estrutura Geral do Trabalho

O presente trabalho encontra-se organizado com uma parte introdutória, três capítulos (capítulo I, capítulo II, capítulo III), conclusão, referência bibliográfica e anexos.

A parte introdutória apresenta um breve apanhado sobre a importância da redução do uso dos combustíveis fósseis da sua negativa contribuição nas alterações climáticas e em contrapartida a busca incessante por soluções alternativas de energias sustentáveis, segue-se com um breve enquadramento e justificação do tema, objetivos gerais e específicos, metodologias e as ferramentas utilizadas.

No capítulo 1 realizou-se uma pesquisa exaustiva baseada em literatura científica do respetivo contexto de trabalho, onde foram relatados conceitos do solo e a sua qualidade para fins agrícolas, a classificação do solo em Portugal e quais os parâmetros físicos, químicos e biológicos importantes do ponto de vista agronómico, uma vez que os vegetais crescem e desenvolvem-se se obtiverem através das solo condições favoráveis para o seu crescimento e desenvolvimento. Ainda neste capítulo, estudaram-se as biomassas e qual a importância no processo de descarbonização da atmosfera terrestre. Indicaram-se as várias fontes de biomassa e as suas características, uma vez que é importante o conhecimento das propriedades químicas destas para o desenvolvimento de processos de produção de outros combustíveis e produtos químicos.

Estudaram-se também as tecnologias de conversão energética da biomassa através de processos termoquímicos e processos biológicos. De seguida, apresentaram-se diferentes métodos de inventariação de biomassa com conceitos e métodos focados na componente da biomassa agrícola. E por último, estudaram os conceitos de sistemas de informação geográfica, a classe de ocupação do solo e o conceito do índice de vegetação por diferença normalizada, NDVI, que se refere a um índice de vegetação, que tem como objetivo a obtenção de valores de refletância das folhas das plantas nos seus diferentes estágios na natureza.

O capítulo 2 apresenta a metodologia utilizada para atingir os objetivos específicos do trabalho, começando com um enquadramento geográfico e socioeconómico dos distritos de Portalegre, Évora e Beja. De seguida descreveram-se as metodologias utilizadas para atingir o objetivo do trabalho de forma detalhada e estruturada.

No capítulo 3 foram apresentados os resultados obtidos e as discussões dos resultados da produtividade da biomassa, caracterização do solo e a caracterização da biomassa.

Por fim, apresentaram-se as conclusões do trabalho, indicando limitações, sugestões e recomendações para trabalhos futuros. O documento termina com as referências bibliográficas utilizadas durante a pesquisa e os anexos com tabelas dos resultados, e algumas imagens das biomassas caracterizadas.

CAPÍTULO I – ESTADO DA ARTE

1.1. Solo e a sua Qualidade

O solo é um componente fundamental do ecossistema e todos os organismos terrestres dependem dele direta ou indiretamente, uma vez que o solo é também o principal substrato utilizado pelas plantas para o seu crescimento e disseminação, armazenamento e reciclagem de nutrientes, distribuição, armazenamento, escoamento e infiltração da água da chuva e de irrigação, ação filtrante de poluentes e proteção da qualidade da água, o ser humano utiliza o solo como matéria-prima ou como substrato na construção civil, como casas, nas indústrias, estradas, cerâmicas e artesanato, pois os tipos de solo afetam como as construções são feitas[4].

Segundo Pia Bucella [4], o solo é constituído por partículas minerais, orgânicas, água, ar e organismos; é um meio complexo, variável e vivo, podendo ser considerado como um recurso não renovável pelo fato do seu processo de formação ser muito lento. Além de nos fornecer alimento, biomassa e matérias-primas, o solo armazena, filtra e transforma inúmeras substâncias, incluindo água, nutrientes e carbono.

O solo tem como material de origem, geralmente, a rocha e resulta de ações simultâneas e integradas de fatores, chamados de fatores de formação do solo, como o clima e os organismos, que atuam sobre as rochas por um determinado tempo.

Dependendo do tipo de rocha (ver na tabela 2), os solos podem ser arenosos, argilosos, férteis ou pobres, originando assim diferentes tipos de solos, cada uma com a sua própria característica [5], [6], [7].

Tabela 2: Exemplos dos principais tipos de rochas

Magmáticas	Metamórficas	Sedimentares
Granito	Gnaisse	Arenitos
Basalto	Quartzito	Argilitos
Diabásio	Xistos	Calcários

(adaptado de [5])

Um corte vertical no solo permite observar que é composto por diferentes camadas sobrepostas, designadas por horizontes, resultantes de uma ação simultânea de processos físicos, químicos e biológicos. Estas camadas podem ser distintas na cor, estrutura, composição e textura, representando o perfil do solo, conforme as figuras 1 e 2, [8], [9], [10], [11]:

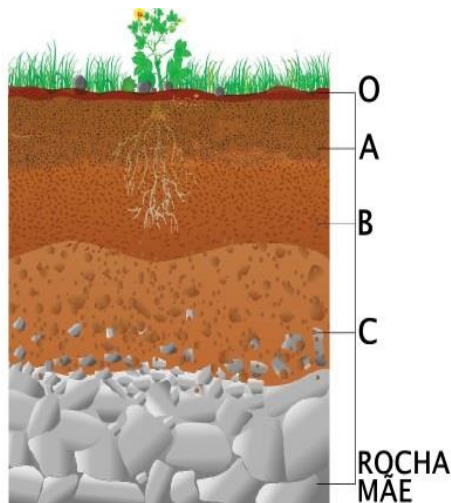


Figura 1: Perfil do solo com discriminação dos seus horizontes

Fonte [12]

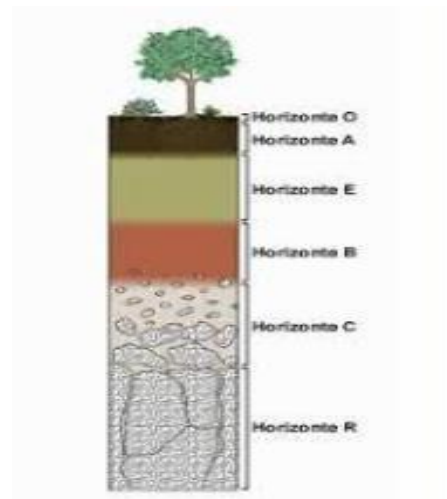


Figura 2: Perfil hipotético do solo com discriminação dos seus horizontes

Fonte [10]

- **Horizonte O:** é uma camada dominada por materiais orgânicos do solo, como folhas, ramos, caules, frutos, sementes, restos de animais, excretas e material fecal, em diferentes estágios de decomposição.
- **Horizonte A:** é uma camada mineral formada na superfície do solo ou abaixo do horizonte O. Esta camada apresenta uma, ou mais, das seguintes características: acumulação de matéria orgânica humificada, misturada com a fração mineral, propriedades resultantes de cultivo, pastoreio ou perturbação similar. A maioria dos solos contém um horizonte A, mas alguns têm um horizonte E, conforme representado nas figuras 1 e 2 (é uma camada também mineral em que a principal característica é a perda eluvial de argila silicatada, ferro, alumínio, silício, deixando uma concentração residual de partículas de areia e limo) ou horizonte B

diretamente abaixo do horizonte O, e em solo sob florestas por vezes é difícil distinguir os horizontes A ou O;

- **Horizonte B:** é uma camada mineral que fica abaixo do horizonte O, A ou E, na qual todas ou muitas das estruturas originais, ou características de estratificação, foram extintas. Pode diferir do material original em relação a cor, estrutura e composição. Os processos que formam esse horizonte incluem concentração iluvial, isoladamente ou em combinação, de argila, silicato, ferro, alumínio, húmus, carbonatos, gesso ou sílica, remoção de carbonatos, concentração residual de sesquióxidos, revestimentos de sesquióxidos não acoplados com iluviação de ferro e forma uma estrutura granular, em blocos ou prismática se as mudanças de volume acompanharem as mudanças no teor de humidade e fragilidade;
- **Horizonte C:** é também um horizonte mineral, excluindo a rocha fortemente cimentada e dura, é pouco afetado por processos pedogénese e por definição não possui as propriedades dos horizontes O, A, E ou B;
- **Rocha mãe:** camada rochosa inalterado, alguns autores designam por horizontes R;

A necessidade de produzir cada vez mais alimentos, para fazer face ao aumento da população mundial, está muitas vezes associada a práticas de cultivo intensivas e excessivas e vem contribuindo para a degradação progressiva do solo, tanto na União Europeia (EU) como no resto do mundo [10]. O uso do solo para fins agrícolas, ocupa uma área considerável na Europa, criando e mantendo uma grande variedade de paisagens e habitats, mas conduzindo também à degradação e poluição do solo, através da erosão pela água, pela mobilização dos solos, da compactação, da perda do carbono orgânico e biodiversidade, da salinização e solidificação, contaminação com metais pesados, pesticidas, nitratos e fosfatos [10], [11], [12].

A preocupação com a qualidade do solo teve início nos anos 70 e vem-se intensificando desde os anos 90. Lal & Pierce (1991) foram os precursores no alerta sobre a relação uso do solo e a sustentabilidade agrícola [13]. As grandes áreas degradadas, tanto fisicamente como quimicamente, contaminadas por agroquímicos, despertou da importância do solo sobre o ambiente, as consequências da sua degradação e a sua influência na sustentabilidade agrícola, levando Lal & Pierce

(1991) a alertar a comunidade científica sobre a necessidade de encontrar soluções inovadoras do uso do solo, uma vez que a qualidade do solo depende das condições de uso e manejo, de interações do ecossistema e também das prioridades socioeconómicas e políticas. [61], [64].

É importante mencionar que os solos possuem uma grande capacidade de fornecer serviços ecossistêmicos no qual proporcionam o bem-estar e a saúde da humanidade. Nem todos os solos podem fornecer serviços ecossistêmicos suficientes, uma vez que, um mesmo tipo de rocha pode originar solos muito diferentes, essas diferenças são influenciadas pelos fatores naturais, antropogénicos e específicos do local, incluindo clima, topografia, manejo, contaminação e uso da terra, alterando assim a qualidade do solo [5], [4], [14].

São encontradas várias definições para a qualidade do solo na literatura, gerando assim uma certa confusão em identificar as principais questões de preocupação com relação à função do solo [15], [16], [17], [13]:

“A qualidade do solo é vista como “a capacidade que um tipo específico de solo tem para funcionar dentro dos limites do ecossistema natural ou gerenciado, sustentar a produtividade de plantas e animais, manter ou melhorar a qualidade da água e do ar e apoiar a saúde humana e a habitação”.

(Karlen et al., 1997)

“A qualidade do solo é a capacidade de o solo exercer funções de produção biológica, qualidade do ambiente e promover saúde das plantas e dos animais de maneira sustentável”.

Doran & Parkin (1994)

“A qualidade do solo é a capacidade do solo de produzir colheitas seguras e nutritivas de forma sustentada a longo prazo e de melhorar a saúde humana e animal, sem prejudicar a base de recursos naturais ou prejudicar o meio ambiente”.

(Parr et al., 1992)

“A qualidade do solo é a capacidade de este funcionar dentro dos limites dos ecossistemas e interagir positivamente com o ambiente externo”

(Larson & Pierce, 1991)

Como se constata, todos estes autores têm uma preocupação em comum: o ambiente.

1.2. Carta de Solo e a sua classificação

Há uma enorme variedade de solos em todo o mundo, oferecendo assim enormes diversidades de condições para a vida das plantas, o que destaca a importância da classificação dos solos [18].

Só na Europa, foram identificados cerca de 10 000 tipos diferentes de solos, os quais foram caracterizados em mais de 320 grandes tipos, e muitos sistemas classificativos. Não existe uma classificação que seja universalmente aceite, cada país foi desenvolvendo a sua própria classificação de acordo com a sua tradição pedológica (modo pelo qual se origina o solo, pela ação de determinados fatores e processos) e com base na experiência própria [19], [20].

Em Portugal a classificação do solo, e a sistematização do tipo de solo, teve início no século XX, com a elaboração das primeiras Cartas dos Solos: a Carta de Solos de Portugal e a Carta de Capacidade e Uso do Solo, ambas na escala 1:50 000. Após vários trabalhos, surgiu a sistematização dos solos nacionais editada pelo antigo Serviço de Reconhecimento e de Ordenamento Agrário (SROA), que é o atual Centro Nacional de Reconhecimento e Ordenamento Agrário (CNROA) e atualmente a classificação portuguesa do solo é conhecida como SROA/ CNROA/ IEADR (Serviço de Reconhecimento e de Ordenamento Agrário/ Centro Nacional de Reconhecimento e Ordenamento Agrário/ Instituto de Estruturas Agrárias e Desenvolvimento Rural) [19].

Na figura 3, encontram-se representados os oito grandes tipos de solos predominantes em Portugal - Classificação FAO / IUSS, que são [19]:

- *Cambisols*: equivalente a solos calcários e litólicos na classificação SROA/CNROA/IEADR. São solos pouco desenvolvidos, de textura normalmente franco-arenosa ou mais fina, no perfil do solo pode apresentar-se com um horizonte A rico em matéria orgânica.
- *Leptosols*: equivalente a Litossolos, Solos litólicos, Solos calcários e Solos Orgânicos Hidromórficos na classificação SROA/CNROA/IEADR. São considerados solos esqueléticos, são delgados que assentam diretamente sobre a rocha mãe, pouco profundo e com baixo teor de matéria orgânica);
- *Luvisols*: equivalente a Solos Argiluvitados Pouco Insaturados na classificação SROA/CNROA/IEADR. São normalmente solos férteis com estrutura desenvolvida;
- *Podzols*: equivalente a Solos Podzolizados na classificação SROA/CNROA/IEADR. São considerados solos evoluídos onde houve migração/lavagem dos compostos orgânicos do horizonte superficial apresentando um horizonte B superficial, mais escuro com acumulação de substâncias ricas em alumínio e matéria orgânica, com ou sem ferro. Têm textura grosseira, são ácidos e pouco férteis, mas facilmente mobilizáveis e podem tornar-se produtivos quando fertilizados;
- *Arenosols*: equivalente a Regossolos psamíticos na classificação SROA/CNROA/IEADR. São solos pouco desenvolvidos, têm textura grosseira, pouca capacidade de retenção de água, são pobres em matéria orgânica e pouco férteis;
- *Fluvisols*: equivalente a Aluviosolos e Coluviosolos na classificação SROA/CNROA/IEADR. São comuns em áreas frequentemente alagadas, desenvolvem-se a partir de sedimentos aluvionares, ou seja, material transportado pela água e depositado nas margens, deltas e vales dos rios;

- *Vertisols*: equivalente a Barro na classificação SROA/ CNROA/IEADR. São normalmente escuros, mas não são ricos em matéria orgânica, são solos difíceis de cultivar porque são adesivos e plásticos quando húmidos e muito duros quando seco, sendo assim muito suscetíveis à degradação física e erosão. Considerados solos argilosos e apresentam fenómenos de contração-expansão e abrem fendas nas épocas secas;
- *Solonchaks*: equivalente a solos salinos na classificação SROA/ CNROA/IEADR. São solos que apresentam elevada salinidade;

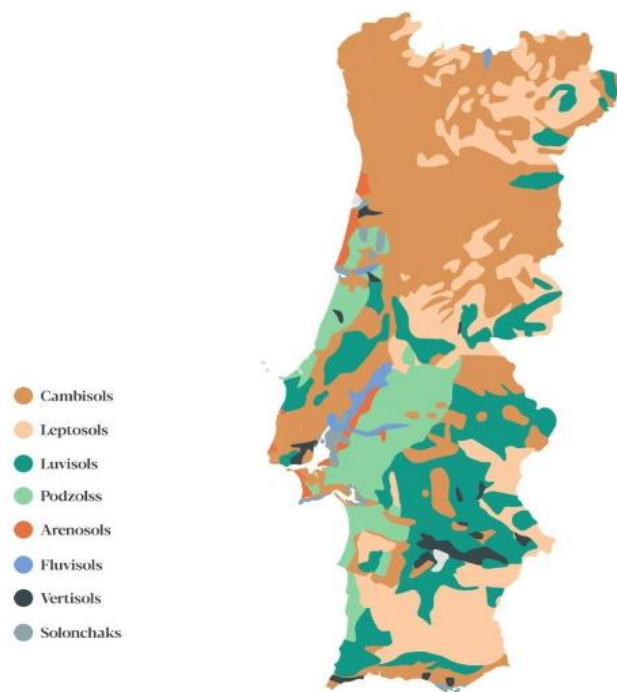


Figura 3: Mapa dos solos de Portugal segundo FAO/IUSS (versão simplificada)

Fonte [19]

Embora em Portugal exista uma variedade de tipos de solo, os que predominam são solos pobres e pouco profundos, o que condiciona negativamente o crescimento vegetal, levando assim ao uso de práticas estratégicas adequadas para melhorar a fertilidade do solo [21].

1.3. Característica geral do solo para a produção agrícola

Os vegetais crescem e desenvolvem-se se obtiverem, através do solo, um fluxo contínuo de sais minerais que são essenciais (nutrientes) para o desempenho das principais funções metabólicas das células, também dependem de fatores como a luz, água e dióxido de carbono[22]. Pois os vegetais não crescem e não se desenvolvem normalmente se não obtiverem do solo um conjunto de minerais e outros elementos essenciais necessários. A absorção e doação desses elementos requeridos para o crescimento e metabolismo das plantas, na solução do solo são definidos como nutrição e os elementos químicos necessários a um organismo denominam-se de nutrientes [21], [22].

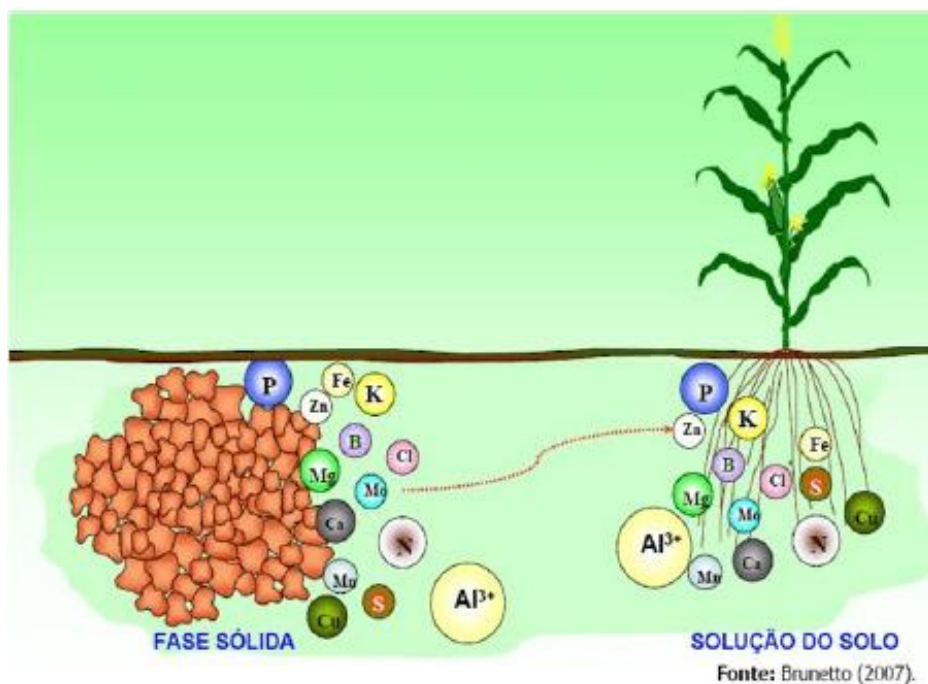


Figura 4: Nutrientes na solução do solo

Fonte [22]

Os nutrientes são classificados em dois grupos e também tem os nutrientes considerados não essenciais [22]:

- **Macronutrientes:** são os elementos absorvidos pelas plantas em maiores quantidades, podem ser subdivididos em primários ou principais e secundários;
 - Macronutrientes primários ou principais: Azoto (N), Fósforo (P) e Potássio (K);
 - Macronutrientes secundários: Cálcio (Ca), Magnésio (Mg) e Enxofre (S);
- **Micronutrientes:** são nutrientes que são absorvidos em menor quantidade;
 - Boro (B), Cloro (Cl), Cobre (Cu), Ferro (Fe), Manganês (Mn), Molibdênio (Mo) e Zinco (Zn);
- **Elementos não essenciais:** Sódio (Na), Silício (Si) e Cobalto (Co);

A planta não escolhe o que absorve, ou seja, podem-se encontrar na sua composição nutrientes como o N, K, P, Ca, Mg, etc (figura 4), como também elementos químicos tóxicos. Sendo assim a cultura sempre apresentará sinais do estado do solo, de modo que é impossível ter uma cultura saudável com um solo infértil, mas, é possível ter um solo fértil e uma cultura com deficiências de nutrientes e isso deve-se talvez aos seguintes fatores [22]:

- i. Existência de algum elemento tóxico no solo;
- ii. Solo compactado (podendo ser uma característica própria ou provocada);
- iii. Doenças e pragas do solo, que afetam o crescimento das raízes;
- iv. Presença de nemátodos no solo;
- v. Deficiência hídrica, que conduz a redução da absorção dos nutrientes;
- vi. Deficiente crescimento inicial da planta, originando assim raízes malformadas;

A tabela 3 apresenta os parâmetros físicos, químicos e biológicos do ponto de vista agronómico, que são necessários conhecer em decisões como, que tipo de cultura utilizar e quando utilizar, num plano de adubação ou irrigação ou ainda para uma prática de conservação do solo, lembrando que alguns indicadores do solo estão sujeitos a alterações perante uma fertilização química [23].

Tabela 3: Indicadores físicos, químicos e biológicos da qualidade do solo do ponto de vista agronómico

Indicadores	Exemplos	Função
Físicos	• Textura e estrutura; • Profundidade e enraizamento; • Densidade; • Capacidade de retenção de água do solo; • Condutividade hidráulica saturada (Permeabilidade); • Temperatura; • Cor;	Garante a estabilidade física do solo para suportar o crescimento e desenvolvimento das plantas;
Químicos	• pH; • Matéria orgânica total, C e N; • Condutividade elétrica • Minerais como N (NH_4^+ e NO_3^-), P e K;	Está associado a reciclagem e fornecimento de nutrientes essenciais para as plantas, principalmente N, P e S;
Biológicos	• Biomassa microbiana; • Respiração do solo; • Biomassa C/ C total orgânico; • Relação respiração/ Biomassa	Responsável pela reciclagem de nutrientes, degradação de vegetais e/ ou animais mortos; Controle biológico de pragas e doenças, formação de húmus, decomposição da matéria orgânica, etc;

(adaptado de [13], [24])

1.3.1. Textura de campo

A textura é a proporção relativa das partículas nas diferentes dimensões da terra fina (Tabela 4).

Terra fina

No solo existem partículas minerais de diferentes dimensões. Aqueles com dimensão inferiores ou iguais a 2 mm, recebem a designação de terra fina e é nesta fração que se procede às determinações. Deste modo, quando as amostras chegam ao laboratório, se secas, são passadas por um crivo de malha 2mm. Muito frequentemente são destruídos os pequenos torrões do solo antes da crivagem.

Tabela 4: Separação da terra fina em diferentes lotes

Designação dos lotes	Diâmetro das partículas (mm)
Areia grossa	2 – 0,2
Areia fina	0,2 – 0,02
Limo	0,02 – 0,002
Argila	< 0,002

Fonte, [23]

São reconhecidas 11 classes texturais, a textura de campo é uma determinação grosseira, e expedita, que classifica o solo em três tipos: pesada, média e grosseira. Estes 3 tipos relacionam-se com as 11 classes texturais, conforme representado na tabela 5.

Tabela 5: Designações da textura de campo e correspondentes classes de textura

Texturas das terras	Classes correspondentes do diagrama triangular de textura
	Arenosa

Grosseira ou ligeira	Areno-franca
	Franco-arenosa
Média	Franca
	Franco-limosa
	Franco-argilo-arenosa
Fina ou pesada	Franco-argilo-limosa
	Franco-argilosa
	Argilo-arenosa
	Argilo-limosa
	Argilosa

Fonte, [23]

1.3.2. Matéria Orgânica

É formada pelos restos de plantas e de outros seres vivos, parcialmente ou totalmente decompostos, apresentando, conforme o grau da sua transformação, características acentuadamente diferentes [21].

A matéria orgânica total pode conter material orgânico ainda reconhecível, como parte de uma folha, por exemplo, e húmus. Este último é uma fonte de nutrientes para as plantas e para os microrganismos. Pode melhorar a estrutura do solo, organizando as partículas, melhorando assim a permeabilidade, o arejamento e o crescimento das raízes. Reduz também o risco de erosão porque o húmus tem natureza aglutinadora, agregando as partículas mais finas, tornando as mais difíceis de serem arrastadas pelos agentes erosivos [23].

A fórmula para calcular a matéria orgânica encontra-se descrita na metodologia de análise química para a matéria orgânica, mais especificamente no ponto 2.2.3.2 do capítulo 2.

1.3.3. Bases de troca e capacidade de troca catiónica

O solo possui partículas minerais e orgânicas mais finas (argila e húmus) que são designados por coloides do solo. Os coloides têm uma superfície com diversas cargas negativas que lhes permitem atrair, reter e trocar elementos que apresentem cargas opostas (catiões) como Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^{+} (são alguns dos nutrientes para as plantas). Este processo designa-se por complexo de trocas do solo [23].

1.3.4. Reação do solo (pH)

O pH mede o grau de acidez ou alcalinidade do solo através da concentração de iões hidrogénio, H^{+} na solução, expressa em gramas por litro. Serve para avaliar a reação do solo na escala do pH que varia entre 0 e 14. No caso dos solos, os valores do pH (H_2O) variam frequentemente entre 4 e 8,5, com classificação conforme a tabela 6. Esta propriedade condiciona a disponibilidade de nutrientes e a atividade microbiana [23].

Tabela 6: Classificação do pH (H_2O) do solo

pH (H_2O)	Designação	
$\leq 4,5$	Muito ácido	Ácido
4,6 – 5,5	Ácido	
5,6 – 6,5	Pouco ácido	
6,6 – 7,5	Neutro	Neutro
7,6 – 8,5	Pouco alcalino	Alcalino
8,6 – 9,5	Alcalino	
$>9,5$	Muito alcalino	

Fonte, [23]

O pH (KCl) diferencia-se do pH (H₂O) pela quantificação dos iões H⁺ da solução do solo, mais os iões H⁺ que permutaram com o ião K⁺ no complexo coloidal.

As plantas diferem na sua sensibilidade a acidez ou a alcalinidade do solo: a maioria das culturas prefere pH ligeiramente ácido e neutro. Por exemplo, para o caso de algumas culturas, as faixas de pH favoráveis ou preferidas são as seguintes [23], [25]:

- Centeio: 5.0 – 6.5;
- Trigo: 6.0 – 7.5 ou 5,5 – 7,5;
- Cevada: 6.5 – 8.0 ou 5,3 – 7,8;
- Triticale: 4,1 – 7,5;

1.3.5. Condutividade elétrica ou salinidade do solo

Serve para avaliar a salinidade dos solos, uma vez que quando o solo tem teor elevado de sais as plantas têm dificuldades de desenvolver e produzir [23], ver tabela 7.

Tabela 7: Classes de salinidade do solo e reação das culturas aos sais

Classificação do solo	Reação das culturas	Condutividade elétrica mS/cm a 25°C	
		No extrato saturação	No extrato 1:2 (solo: água)
Solo sem efeitos salinos	Sem problemas	0 - 2	< 0,40
Solo muito pouco salino	Culturas muito sensíveis aos sais podem ser afetadas	2 - 4	0,41 - 0,80
Solo pouco salino	Culturas sensíveis aos sais podem ser afetadas	4 - 8	0,81 - 1,60

Solo moderadamente salino	Só culturas tolerantes aos sais atingem produções aceitáveis	8 – 12	1,61 – 2,40
Solo fortemente salino	Só culturas muito tolerantes aos sais atingem produções aceitáveis	12 – 16	2,41 – 3,20
Solo muito fortemente salino	Só algumas culturas altamente tolerantes aos sais atingem produções aceitáveis	> 16	> 3,20

Fonte, [23]

1.3.6. Calcário total e ativo

A presença de carbonatos e cálcio e /ou de magnésio confere-lhe algumas características especiais, influenciando assim fortemente a disponibilidade de alguns elementos.

Os indicadores (textura de campo, pH, M.O, etc) acima mencionados são úteis para determinar as mudanças temporais nas propriedades solo, na mobilidade e na disponibilidade de nutrientes que afetam os solos agrícolas em processos como a fertilidade (conforme o esquema da figura 5), movimentação e retenção da água e solutos, acumulação e decomposição de matéria orgânica, principalmente para solos extremamente perturbados, e para projetar melhores sistemas de uso e ocupação [17], [26].



Figura 5: Ciclo da erosão do solo no sistema de produção vegetal

Adaptado de [26]

A fertilidade do solo é definida como a capacidade de o solo fornecer às plantas água e nutrientes essenciais, na quantidade e nas proporções adequadas ao seu crescimento e desenvolvimento, na ausência de substâncias tóxicas que possam impedir esse crescimento / desenvolvimento. A cultura sempre indica como o solo está, ou seja, uma boa fertilidade do solo implica uma boa nutrição das plantas. Segundo alguns autores ([22], [27], [28]) aproximadamente 60% da produtividade agrícola depende da fertilidade do solo e uma das principais funções do solo é a produção da biomassa.

Logo, é necessário entender como as propriedades físico-química do solo estão inter-relacionadas com a produtividade agrícola/biomassa.

1.4. Biomassa

A biomassa é um material celulósico, que pode ser lenhoso (por exemplo lenha, pontas e ramos de árvores, casca de árvores e serradura) e não lenhoso (por exemplo resíduos agrícolas, como bagaço de azeitona, palha, cascas e caroços de frutos, sementes e estrume) [29].

Como fonte de energia, a biomassa de origem vegetal pode ser definida como matéria orgânica que captura a luz solar para converter CO₂ e água em matéria química armazenada para o crescimento através do processo de fotossíntese. É considerada um recurso renovável porque é cultivada, usada e regenerada numa escala de tempo comparativamente curta, em grandes quantidades [26].

Do ponto de vista energético, a biomassa refere-se a todo e qualquer material biológico (resíduos agrícolas, florestas e das indústrias relacionadas, fração biodegradável dos resíduos industriais e urbanos) provenientes de seres vivos e que podem ser convertidos em energia. De uma perspetiva global, existem dois grandes tipos de biomassa, a terrestre e a aquática. Muito embora cerca de 70% da superfície da Terra seja coberta por água, existem quantidades aproximadamente iguais de biomassa terrestre e aquática disponíveis, mas a biomassa terrestre concentra mais carbono por unidade de área [30].

O tipo de biomassa aquática consiste em microalgas (fitoplâncton) e macroalgas (algas e outras plantas) enquanto o tipo terrestre é distinguido como lenhoso (madeiras duras e macias) e herbáceo (gramíneas e culturas agrícolas) [30].

A biomassa é formada pela interação de dióxido de carbono (CO₂), ar, água, solo e luz do sol com plantas e animais (Figura 6). Após um período, estes morrem e/ou decompõe-se, quando os microrganismos degradam a biomassa em partes constituintes como H₂O, CO₂ e outros [31] [32]. Ela pode também sofrer conversão termoquímica, que eventualmente também a decompõe em constituintes referidos acima. Este processo é um ciclo, pois o CO₂ fica novamente disponível para produzir uma nova biomassa; o CO₂ que é libertado da conversão de biomassa não se adiciona à quantidade de CO₂ total da Terra, porque foi absorvido pela biomassa no passado recente. Desta forma a biomassa detém um efeito neutro nas emissões de gases efeito de estufa [32].

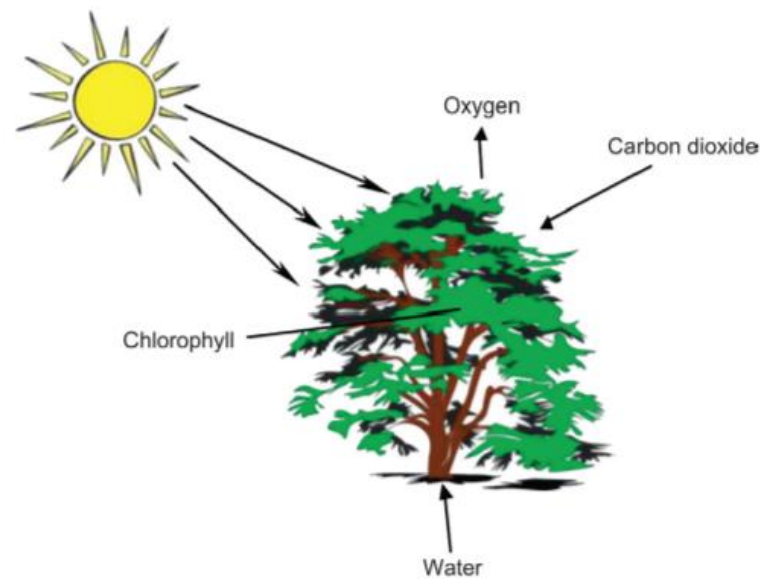


Figura 6: Biomassa cresce absorvendo energia solar, CO₂ e água por meio do processo de fotossíntese

Fonte [32].

Segundo Loppinet-Serani. e Bracmort & Gorte[32], a biomassa refere-se a qualquer material orgânico derivado de plantas ou animais que vive ou viveu num passado recente.

A biomassa é a única energia renovável que, por meio de tecnologias de conversão conhecidas, pode ser convertida em combustíveis gasosos, líquidos ou sólidos, podendo ser usada em diversas aplicações nos setores de energia e da indústria, integrando empresas agrícolas e florestais, oferecendo assim uma vasta aplicação sustentável [33].

Há muitas vantagens no uso da biomassa para a produção da energia elétrica e apenas algumas desvantagens [34]:

Vantagens:

- Prevenção da erosão;
- Redução do perigo dos incêndios;
- Proteção da vida selvagem e outros componentes da biodiversidade;

- Redução de emissão de GEE;
- Criação de emprego, benefícios económicos em áreas rurais;

Desvantagens:

- Imaturidade no mercado de biomassa;
- Disponibilidade limitada;
- Custo não competitivo em comparação com combustíveis fósseis como o carvão ou petróleo;
- Uso de maquinarias pesadas durante o cultivo e a recolha: compactação do solo;

1.4.1. Fontes de Biomassa

A biomassa tem uma variedade de fontes e ela pode ser dividida em quatro categorias, de acordo com a sua origem, [26], [30], [29]:

- **Culturas para fins energéticos:** são culturas cultivadas para fins energéticos, principalmente para a produção de energia. Em que a sua função é capturar a radiação solar para armazená-la na biomassa, como exemplo temos, a colza, o milho, o girassol, Choupos, canola, *switchgrass*, salgueiros, *Miscanthus Sinensis*, etc;
- **Resíduos agrícolas e florestais:** são resíduos gerados na colheita de cereais e no corte de árvores. Por exemplo, a palha e os resíduos de madeira são desperdícios naturais, são especialmente adequados para a reciclagem energética, porque reduz os custos de produção dos produtos principais ou aumenta o rendimento da cadeia de cultivo. Os resíduos agrícolas são compostos fundamentalmente por celulose, são de fácil preparação na obtenção da energia e por serem de disponibilidade sazonal precisam, portanto de armazenamento por longos períodos, o que pode alterar as suas características;

- **Subprodutos orgânicos:** O processamento de biomassa para criação de produtos, forma um grupo adicional de subprodutos e esses subprodutos incluem resíduos orgânicos, os efluentes da agropecuária e os resíduos do processamento industrial da madeira e de fibras vegetais. A reciclagem energética (que é a transformação de resíduos em energia térmica ou elétrica), pode conduzir a um aumento da utilidade e assegurar que partes do processo de produção sejam permanente e ambientalmente sustentáveis;
- **Resíduos orgânicos:** incluem resíduos domésticos e as lamas dos efluentes domésticos e industriais, por exemplo temos os resíduos da produção alimentar no qual deve ser cumprida uma gama completa de requisitos legais, desde a origem até ao controlo epidémico;

1.4.2. Características e propriedades da biomassa

A composição da biomassa é amplamente diversa, os resíduos de origem de vegetal são compostos principalmente por quantidades variáveis de celulose, hemicelulose, lignina e pequenas quantidades de outros compostos orgânicos além dos inorgânicos como, proteína, açúcares simples, amido, hidrocarbonetos água e cinzas, enquanto o esterco de gado é rico em proteínas e os cereais são compostos principalmente por amidos. A proporção relativa desses principais componentes orgânicos na biomassa é particularmente importante no desenvolvimento de processos para a produção de outros combustíveis e produtos químicos [31] [32].

- **Celulose**

A celulose, é um polímero de cadeia longa de fórmula molecular $(C_6 H_{10} O_5)_n$ com um alto grau de polimerização e grande peso molecular (Figura 7).

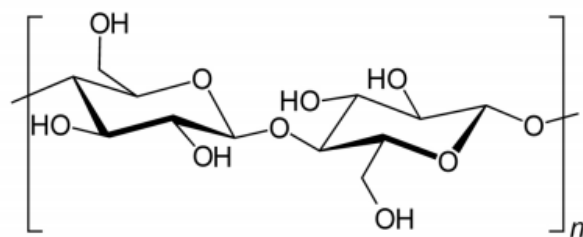


Figura 7: Estrutura molecular da celulose

Fonte [35]

É o composto orgânico mais comum na Terra e um dos principais componentes estrutural de uma biomassa (cerca de 33% da massa na planta). É o principal contribuinte responsável pela formação do alcatrão durante o processo de gaseificação da biomassa (ver tecnologias de conversão de biomassa, ponto 1.5). Embora sendo um carboidrato, a celulose é altamente insolúvel e não é digerido pelo organismo humano, uma vez que o ser humano não possui a celulase, que é uma enzima responsável por hidrolisar a celulose em glicose [32].

- **Hemicelulose**

A hemicelulose é um outro componente das paredes celulares de planta. É um carboidrato com estrutura ramificada e menor grau de polimerização, pode ser representado pela fórmula genérica $(C_5H_8O_4)_n$ (Figura 8).

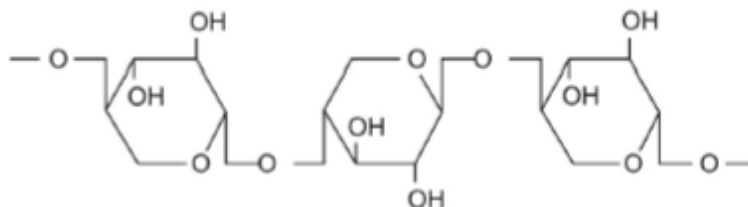


Figura 8: Exemplo de uma molécula hemicelulose e xilano

Fonte [32]

Existe uma variação significativa na composição e estrutura da hemicelulose entre as diferentes biomassas. A maioria contém resíduos de açúcar simples como D-xilose (o mais comum), D-glicose, D-galactose, L-ababinose, ácido D-glucurnóico e manose. Ao contrário da celulose que possui uma estrutura cristalina forte que é resistente à hidrólise, a hemicelulose tem uma estrutura amorfa aleatória com pouca força e ela tende a render mais gases e menos alcatrão do que a celulose no processo de gaseificação e constitui cerca de 20% a 30% do peso seco da maior parte da madeira [32].

- **Lignina**

A lignina é um polímero complexo altamente ramificado de fenilpropano e é parte integrante da parede celular secundária das plantas. É principalmente um polímero tridimensional de 4-propenilfenol, 4-propenil-2-metoxifenol e 4-propenil-2, 5-dimetoxifenol (figura 9).

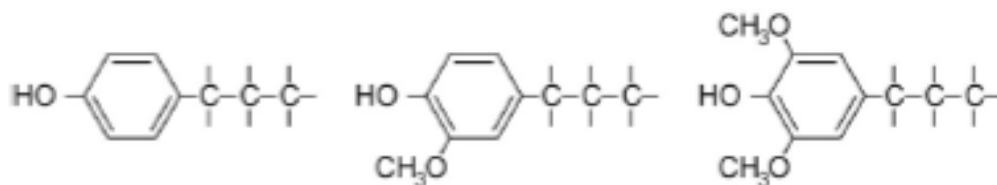


Figura 9: Algumas unidades estruturais da lignina

Fonte [32]

É o terceiro componente importante das paredes celulares da biomassa lenhosa, em que uma madeira dura típica contém cerca de 18% a 25% em peso seco de lignina, enquanto a madeira mole contém 25% a 35%, conforme representado na tabela 8. A lignina é um polímero tridimensional, com a finalidade de manter as fibras de celulose juntas [32], [36].

De uma forma geral, a hemicelulose, celulose e lignina, além de outras constituintes menores (compostos alifáticos e fenólicos), são famílias de compostos químicos que estruturam uma biomassa vegetal. A hemicelulose e a celulose agrupam formando a holocelulose, que compõe as paredes das fibras de madeira (celulose é a parede e a hemicelulose ocupa os espaços vazios). A lignina é um polímero tridimensional que é responsável por manter as fibras da celulose juntas [36].

Tabela 8: Composição química da madeira

Tipo de Madeira	Hemicelulose	Celulose	Lignina
Madeira Mole	25-35%	45-50%	25-35%
Madeira Dura	40-55%	25-40%	18-25%
Palha de trigo	20-25%	33-40%	15-20%
Planta gramínea	10-20	30-50	5-20

Fonte, adaptado de [36].

As propriedades das biomassas são um dos fatores mais importantes na seleção de um processo de conversão e quando se trata da conversão da biomassa em energia térmica, as principais propriedades a considerar no material de interesse são [37], [36]:

- **Teor de humidade:** é uma propriedade com bastante influência no processo de conversão e é definido como a massa de água contida na biomassa e pode ser expressa tanto na base húmida (bh) como na base seca (bs), de modo que é necessário saber em que base os resultados são apresentados.

$$\omega_{bu} = \frac{m_{H_2O}}{m_{H_2O} + m_{Bio\ seca}} (\% bh) \quad \text{Equação 1}$$

Onde a m_{H_2O} é a massa de água contida na amostra e $m_{Bio\ seca}$ é a massa da biomassa seca.

E o Teor de Humidade para a base seca é calculado de acordo com a equação 2.

:

$$\omega_{bs} = \frac{m_{H_2O}}{m_{Bio\ seca}} (\% bs) \quad \text{Equação 2}$$

As espécies de plantas lenhosas e herbáceas com baixo teor de humidade são as fontes de biomassa mais eficientes para a conversão térmica em combustíveis

líquidos, como o metanol e para a produção de etanol por conversão bioquímica (fermentação). As espécies de plantas com alto teor de humidade como cana-de-açúcar são mais adequadas para o processo de digestão anaeróbica para produzir o metano [37], [36].

A biomassa originária da produção agrícola possui um teor de humidade entre 15% - 30% (bh). Reduzindo a humidade para valores inferiores a 8%, inicia-se o processo de decomposição da estrutura molecular da madeira, uma vez que essa água faz parte da composição da estrutura macro da madeira e está ligada às paredes de celulose. A perda dessa água causa a tensão na estrutura molecular e se manifesta macroscopicamente pela mudança da sua coloração para preto [37], [36].

- **Proporções de carbono fixo e voláteis:** consiste a energia química armazenada na forma de carbono fixo (CF) e matéria volátil (MV). A matéria volátil de um combustível sólido é uma porção do gás incluindo a humidade por aquecimento e o carbono fixo é a massa restante após as libertações de voláteis, excluindo cinzas e humidade.
- **Teor de cinzas/ resíduos:** A decomposição química de um combustível de biomassa tanto por processos termoquímicos e bioquímicos produzem um resíduo sólido. A cinza é um resíduo sólido resultante do processo termoquímico da combustão no ar, o teor de cinza da biomassa afeta os custos de manuseamento e processamento do custo geral de conversão de energia da biomassa e a cinza forma um parâmetro de medição padrão para combustíveis sólidos e líquidos. No processo bioquímico a percentagem de resíduo sólido será maior do que o teor de cinzas resultante do processo de combustão do mesmo material, isto porque representa o carbono que não pode ser degradado biologicamente, mas pode ser queimado durante o processo termoquímico.

A energia na forma de CF e MV, fornecem uma medida de facilidade com que a biomassa pode ser inflamada e subsequentemente gaseificada ou oxidada, isso dependendo de como a biomassa será utilizada como fonte de energia.

Os testes de laboratório usados para determinar a humidade, o CF e a MV do combustível, é denominada a análise imediata ou aproximada do combustível (descrita no capítulo 2).

A análise elementar de um combustível (descrita no capítulo 2), apresentada sob a forma de teores de C, N, H, O e S, é chamada de análise final ou elementar do combustível.

- **Poder calorífico:** é a quantidade de energia calorífica libertada pelo material durante o processo de combustão, geralmente é medido em termos do conteúdo de energia por unidade de massa ou volume, isto é: MJ/Kg para sólidos, MJ/L para líquidos ou MJ/Nm³ para gases. O poder calorífico de um combustível pode ser expresso de duas formas: o Poder Calorífico Superior (PCS) e Poder Calorífico Inferior (PCI).

$$PCI. m_{comb} = PCS. m_{comb} - m_{H_2O} \cdot h_{VL} \quad \text{Equação 3}$$

O PCS consiste na soma da energia libertada em forma de calor com a energia gasta na vaporização da água resultante da queima de um combustível. Pode ser determinada com ajuda dos resultados da análise elementar e é possível fazer o relacionamento do PCS de uma biomassa com a quantidade de ligações químicas envolvendo seus elementos. O PCI consiste apenas na energia libertada na forma de calor.

1.5. Tecnologias de conversão energética da biomassa

A biomassa pode ser convertida em formas úteis de energia usando vários processos diferentes, que são classificados como processos termoquímicos ou biológicos e são selecionados de acordo com alguns fatores como: o tipo e a quantidade da matéria-prima disponível, com a forma de energia desejada, padrões ambientais, fatores económicas e fatores específicos de um determinado projeto [34].

1.5.1. Processos de conversão termoquímica

O processo termoquímico baseia-se na utilização do calor para a transformação da biomassa. Neste método, normalmente, a fonte é a biomassa residual de origem agrícola, florestal, indústrias da madeira e de transformação agroalimentar. Existem três processos que dependem da quantidade do agente oxidante presente no momento da transformação [38]:

- **Combustão**

A combustão é uma reação química exotérmica entre um carburante e um combustível (biomassa), em que a biomassa é submetida a altas temperaturas na presença de excesso de oxigénio. É utilizada para libertar calor nos processos domésticos e industriais e formado como produtos um grupo de espécies como CO₂, H₂O, podendo também conter teores CO, NO_x, hidrocarbonetos, partículas sólidas e outros, dependendo das condições da reação química [36], [38].

- **Pirólise**

A pirólise é um processo de conversão da biomassa submetida a temperatura num intervalo de 200°C-500°C e na ausência de oxigénio obtendo produtos em vários estados: líquidos (bio óleo), que pode ser armazenado e usado para aquecimento e geração de eletricidade; os produtos sólidos (carvão); gasosos (gás combustível); e outros produtos químicos de valor agregado [35]. Existem basicamente três processos de pirólise, a lenta, a rápida e a ultra rápida diferenciando entre si pela temperatura e o tempo de permanência da biomassa no reator de acordo como o produto que se pretende obter [39].

- **Gaseificação**

A gaseificação é a conversão de matérias-primas em gases combustíveis através da oxidação parcial da matéria-prima, recorrendo a um agente de gaseificação ou agente oxidante a elevadas temperaturas (>700°C), que reagem com o carbono sólido e/ ou

hidrocarbonetos mais pesados para convertê-los em gases de baixo peso molecular, em que os mais importantes costumam ser o CO, H₂, CO₂ e CH₄. O agente oxidante pode ser o ar, o oxigénio ou mesmo o vapor [32], [40].

Esta tecnologia vem recebendo muita atenção pela verificação, principalmente, da limpeza e versatilidade do combustível gerado, quando comparado aos combustíveis sólidos e pela possibilidade de geração de energias elétricas em comunidades isoladas das redes de energia elétrica, por intermédio da queima direta do gás em motores de combustão interna. O gás resultante da gaseificação, também chamado de gás produto ou gás de síntese, é um gás de baixo poder calorífico em torno de 4-7 MJ/Nm³ (se o agente oxidante for ar) ou 10 a 18 MJ/Nm³ (se o agente oxidante for oxigénio ou vapor), em consequência do baixo poder calorífico ao gás resultante do processo da gaseificação ou pirolise da matéria-prima, é denominado gás pobre em que na sua composição está presente CO, CO₂, H₂, CH₄, N₂ (se o agente oxidante usado for o ar) entre outros elementos e vários contaminantes como particulados e alcatrão.

O gás de síntese produzido após a purificação é usado como matéria-prima para sintetizar combustível para transporte, metanol, etanol, metano, éter dimetílico e outros produtos [41]. É usado para acionar um motor de combustão interna para a produção da energia elétrica, acionar uma turbina a gás, um forno de secagem de revestimento cerâmico, também pode ser usado na produção de calor, produção de produtos químicos e combustíveis [42], [43], [44]. O gás de síntese também pode ser usado em motores diesel quer na fase de ignição, quer por reconversão dos motores a diesel para alimentação com gás de síntese em substituição ou complementaridade com o gasóleo. Na alternativa de complementaridade o ar em excesso, usado na combustão do gasóleo, é substituído por gás de síntese.

O *syngas* em exclusividade pode ser usado em modo de funcionamento em duas fases, em que na fase inicial se utiliza para a ignição o gasóleo após o que será possível a utilização de *syngas* no processo de combustão [44]. E as propriedades do combustível por sua vez não afeta muito as performances do motor, dando mais atenção aos produtos indesejáveis resultantes da combustão. Logo, tanto para a durabilidade do motor assim como para a saúde pública, alguns elementos dos combustíveis devem manter dentro dos seguintes limites [45]:

- C: <0,01%;
- S: 0.5 – 1.5%;
- Cinzas: 0.01 – 0.05%;

A utilização do *syngas* com *diesel* em motores *duo fuel* é considerada uma alternativa viável do ponto de vista energético e ambiental. A principal razão do uso de *syngas* em motores a *diesel* é de um substituto parcial a este, pois isso permite reduzir custos, minimizar emissões e aumentar o desempenho do motor em alguns regimes de carga [46].

Existem três tipos principais de reatores/gaseificadores usados para a gaseificação da biomassa [43]:

- Gaseificadores de Leito Fixo (*Updraft, Dowdraft e Crossdraft*);
- Gaseificadores de Leito Fluidizado (Borbulhante e Circulante);
- Gaseificadores de Fluxo Arrastado;

A seleção do gaseificador depende das características do combustível a ser gaseificado e do uso do gás energético produzido, cada um dos gaseificadores apresentam as suas vantagens e desvantagens nas qualidades e características do gás produzido [47].

1.6. Potencial da biomassa em Portugal e no mundo

No planeta Terra crescem cerca de 200 bilhões de toneladas de biomassa nas áreas rurais, que corresponde a 30000 Hexajoule de capacidade de energia que é um valor que equivale a um volume de todas as reservas de fontes de energia fóssil e um crescimento anual de 15 bilhões de toneladas de biomassa (por fotossíntese) representa um potencial energético de 2250 Hexajoule. Entretanto, esse potencial corresponde a biomassa de toda a massa terrestre e apenas uma parte pode ser utilizada, e essa parte é um potencial técnico que está estimado em cerca de 150 Hexajoule [33].

Sendo a bioenergia uma energia derivada de biomassa e uma alternativa futura ao uso do combustível, visto que é convertida em várias formas de biocombustíveis

obtidas através de processos de conversão termoquímicos e bioquímicos, embora, os processos termoquímicos apresentam maior eficiência de conversão e menor intervalo de tempo de resposta, e para isso a seleção de matéria-prima é muito importante e uma tarefa muito delicada. A DGEG afirma que bioenergia é um recurso renovável que representa atualmente cerca de 11% do consumo de energia primária mundial que pode ser considerado um emissor neutro de CO₂, e de acordo com Umar et al., 2021 [50], o desenvolvimento da bioenergia é determinado pela sua capacidade em extrair grandes quantidades de biomassa.

De acordo com [41] estima-se que até 2050 a biomassa poderia fornecer 3000 terra watts-hora (TWh) de eletricidade. A geração de energia derivada da biomassa aumentou 14,5% em 2018 e a Ásia-Pacífico é a principal contribuinte, com 40% da geração global de energia renovável, no qual a China está entre os países que mais contribuem com a energia renovável tendo uma produção de 634,2 TWh. De seguida vem Europa e a América do Norte em que a Alemanha e EUA contribuem com níveis de energias renováveis de 209,2 TWh e 458,5 TWh respetivamente [41].

A discussão sobre a biomassa e a bioenergia nunca foi tão intensa na Europa como tem sido nos últimos anos, e a União Europeia (EU) tem vindo a enfatizar o uso das fontes de bioenergia e o desenvolvimento sustentável na sua política energética [34]. Além de ser uma opção promissora de combustíveis para transporte, o potencial de bioenergia desempenha um papel muito importante na sustentabilidade ambiental, no qual se destaca questões ambientais (redução das emissões de GEE) e pode garantir também a segurança energética em qualquer parte do mundo, por exemplo a Etiópia e a Tanzânia obtêm mais de 90% de suas energias da biomassa, assim como todo o continente africano depende fortemente de recursos da biomassa para prestação de serviços de energia [50].

Na união europeia a biomassa é atualmente a maior fonte de bioenergia e combustível para calor, eletricidade e transporte e as principais fontes de biomassa provêm principalmente de resíduos agrícolas e florestais. Cerca de metade da área terrestre da união europeia é ocupada pela agricultura onde os resíduos de cereais, como o trigo (149 Mt ano⁻¹), milho (80 Mt ano⁻¹), colza (54 Mt ano⁻¹) e cevada (50 Mt ano⁻¹) contribuem com cerca de 70% do total de biomassa residual produzida [41]. A

UE colocou como objetivo um valor médio de eletricidade a partir de recursos de energia renováveis. Atualmente a Diretiva Energias Renováveis (Diretivas (EU) 2018/2001), inclui uma meta de 3,5 % até 2030 e uma meta intermédia de 1 % até 2025 para os biocombustíveis avançados e o biogás no setor dos transportes.

Portugal é um país onde as indústrias de madeira, cortiça, papel e empresas agrícolas têm um papel importante na economia, em que nessas indústrias durante a fase de produção são obtidas grandes quantidades de resíduos [29]. A superfície agrícola utilizada (SAU) de Portugal é de cerca de 3,6 milhões de hectares, 39% da sua superfície terrestre dos quais 30% são ocupados por culturas temporárias, 20% por culturas permanentes e 50% por pastagens permanentes. Segundo os dados estatísticos de 2013, 15% da SAU é adequado para irrigação, representando assim 58,5% do total de propriedades agrícolas [18]. Os padrões de desenvolvimento da biomassa variam de acordo com os gradientes ambientais, variáveis climáticas e nutrientes do solo [44].

Das culturas temporárias destacam-se como produção principal os cereais para grão e relativamente a culturas permanentes destaca-se o olival, a vinha, os frutos secos e os citrinos. De acordo com a biomassa residual da produção agrícola pode ascender a 3 Mt por ano, sendo 59% correspondentes as podas sobrantes das culturas permanentes, sobretudo olival, vinha e pomares e os restantes 41% de culturas temporárias como sobras de milho, girassol e palha de arroz [51].

Em relação a biomassa de resíduos agrícolas, a palha é utilizada principalmente para a alimentação animal e os resíduos são queimados para o aquecimento energético; os resíduos de podas agrícolas são utilizados para fins energéticos, mas têm uma contribuição reduzida quando comparados com lenha, entretanto esses produtos podem ter um papel significativo na produção de bioetanol [49].

A tabela 9 mostra o potencial energético derivado de alguns resíduos agrícolas.

Tabela 9: Potencial da energia derivada de resíduos agrícolas

Espécie	GWh/ano	Álcool equivalente milhões de litros
Palha de cereais	1390	227,3
Resíduos de poda de vinhas, árvores de fruto e oliveiras	2190	357,7
Total	3580	585,0

Fonte [49]

Biomassa derivados de resíduos agrícolas classificam-se como a principal fonte de biomassa para a produção de energia sustentável, devido ao seu potencial para mudança indireta mínima no uso da terra. Lembrando que apesar de termos quantidades consideráveis dessas biomassas é preciso reforçar que, parte das biomassas (palhas) são usadas para a proteção do solo contra a erosão eólica e alimentação animal [41].

1.6. Sistema de informação geográfica (SIG)

De acordo com a literatura [52] e [53] define-se por SIG, um sistema composto por um ambiente institucional, um hardware e um software que em conjunto permitem capturar, armazenar, verificar, integrar, sobrepor, manipular, analisar e visualizar dados referenciados geograficamente. Contém ferramentas altamente sofisticadas para lidar com todo o tipo de informação espacialmente referenciadas, incluindo as imagens de satélite.

O programa *Copernicus* da União Europeia, que através da Agência Espacial Europeia (ESA – *European Spacial Agency*) já lançou no espaço mais de 70 satélites de observação terrestre, tem por objetivo estabelecer um sistema operacional e independente de observação da superfície da Terra. O principal objetivo é disponibilizar informações, serviços e conhecimentos de qualidade em tempo útil sobre questões ambientais e de segurança a nível global, utilizando dados de satélite complementados por dados recolhidos *in situ*, no ar, no mar e em terra (e.g. em

aviões, balões, drones, navios ou fixos ao solo), provenientes de vários Estados-Membros [53].

As imagens de satélite são conhecidas como um poderoso meio de obter informação atualizada da Terra, através dos programas de observação da Terra (*Earth Observation – EO*) e a custos relativamente baixos. Com a evolução tecnológica as imagens provenientes de sensores remotos e os avanços no processamento de imagens são uma ferramenta com bastante relevância. Uma vez que apoia a gestão, como planeamento urbano, economia, agricultura e políticas de uso e ocupação do solo, ou seja de uma forma geral, a obtenção de informações acerca dos sistemas físicos, químicos, biológicos e geológicos do nosso planeta de modo a detetar alterações ou monitorizar riscos, obtendo uma melhor caracterização da estrutura das florestas, dos solos e consequentemente da sua biomassa e do carbono fixado, tudo isso com o histórico das imagens registadas pelos sensores dos satélites [53].

O sensoriamento remoto é uma tecnologia que permite obter imagens e outros tipos de dados captados e registados da energia que é refletida ou emitida pelos elementos da superfície terrestre. Pode ser encontrada uma revisão bastante completa dessas técnicas em trabalhos de Florenzano, T.G, 2002 [54] e R. Cristina Lira et al., 2016 [53].

Existem diferentes sensores operando em diferentes regiões do espectro eletromagnético e cada tipo capta dados de uma ou mais regiões do espectro [54]. As estimativas de biomassa agroflorestal normalmente são efetuadas com a utilização dos chamados índices de vegetação (IV) e das variáveis tiradas do sensoriamento remoto. Para o seu funcionamento necessita de um conhecimento sobre como interpretar as imagens de satélite em classes de coberturas florestal ou algumas características particulares das bandas espectralis (intervalo entre dois comprimento de ondas no espectro eletromagnético) das imagens e das funções que relacionam estas características com a biomassa [55], [56].

1.6.1. Carta de uso e Ocupação do solo

A carta de uso e ocupação do solo (COS) é um sistema de monitorização e ocupação do solo que utiliza as mais recentes tecnologias do espaço e de inteligência artificial para criar produtos com mais detalhe, qualidade e rapidez. Foi concebida pela

Direção-Geral do território (DGT) com o objetivo de produzir informação sobre o uso e a ocupação do solo de forma contínua e está considerada como uma cartografia de referência a nível nacional [57].

A COS iniciou-se nos anos 90 e foi atualizada nos anos 1995, 2007, 2010, 2015 e 2018, esta última foi concluída no final de 2019 e conta com versões utilizadas, a COS2018v1.0 e COS2018v2.0. Esta última é a que foi utilizada no presente trabalho. A sua nomenclatura inclui 83 classes e quatro níveis, sendo que o nível 1 inclui nove classes, que são [58]:

1. Territórios artificializados;
2. Agricultura;
3. Pastagens;
4. Superfícies agroflorestais (SAF);
5. Florestas;
6. Matos;
7. Espaços descobertos ou com pouca vegetação;
8. Zonas Húmidas;
9. Massas de água superficiais;

O presente trabalho centra-se na classe 2 do nível 1, a agricultura, correspondendo culturas temporárias, culturas permanentes, áreas agrícolas heterogéneas e agricultura protegida e viveiros no nível 2. Utilizou-se como base de estudo as culturas agrícolas temporárias e as culturas agrícolas permanentes, porque são as culturas que se apresentam em maior quantidade.

1.6.2. Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI)

O NDVI é uma das técnicas de processamento de imagens que possibilitam a exploração dos dados de sensores remotos e são caracterizados como uma forma simples de deteção da vegetação, caracterizando a sua distribuição espacial e a sua evolução no tempo (ROSEMBACK; FRANÇA; FLORENZANO, 2005; LOBATO *et al.*,

2010) citado em [59]. O seu valor consiste na diferença da refletância no infravermelho próximo e refletância no vermelho dividindo pela soma dessas duas bandas de acordo com a equação proposta por ROUSE et al. (1973) [59]:

$$NDVI = \frac{\rho_{NIR} - \rho_{RED}}{\rho_{NIR} + \rho_{RED}} \quad \text{Equação 4}$$

Onde: ρ_{NIR} = refletância do infravermelho próximo e ρ_{RED} = refletância do vermelho. O NDVI varia no intervalo de [-1;1], em que quanto mais próximo estiver do valor 1 está considerado uma forte atividade fotossintética da vegetação [60].

Aasen et al. (2018) [61], referem que a pesquisa de espectroscopia de alta resolução mostrou que as culturas agrícolas têm fortes características de absorção na região da luz azul (400-450nm) e na região da luz vermelha (650-700nm) devido à influência de grupos de pigmentos como a clorofila e carotenoides na cultura, e que tem fortes características de reflexão na região do infravermelho próximo (700-1050nm) devido à estrutura interna das folhas. E que o teor de clorofila é um dos principais indicadores utilizados para capturar a capacidade fotossintética e o estado nutricional de uma cultura [61].

1.7. Métodos de Estimação da Produção de Biomassa

A estimativa da biomassa além de ser imprescindível nos estudos do balanço global de carbono, é muito importante também para uma vasta gama de aplicações, como por exemplo, na estimativa da produtividade florestal e agrícola, modelação e caracterização de impactos de incêndios e outras perturbações ou para modelar as consequências ambientais e económicas da produção de energia a partir da biomassa [62].

Existem dois métodos de estimativa de biomassa lenhosa: método direto, método indireto.

1.7.1. Método Direto

O método direto, conhecido também como um método destrutivo, consiste em cortar uma ou mais árvores para determinar a biomassa através do peso direto de cada um dos componentes da árvore de uma determinada parcela e seguidamente extrapolar os resultados para a área total de interesse. Este método para as estimativas da biomassa podem ser divididos em duas grandes classes: o método da árvore individual e o método da parcela [63].

- *Método de árvore individual*

O método da árvore individual é feito perante a seleção de uma árvore média, essa seleção é feita através da realização de um inventário florestal piloto e cálculo do diâmetro ou a área transversal ou seccional dessa árvore [63]. Existe também outra técnica usada no método da árvore individual, que é a chamada técnica de corte estratificado, que se caracteriza pelo corte raso de um pequeno ponto a ser estudado e divide-se a parte acima do solo em 10 ou mais estratos paralelos à superfície do solo e todas as árvores pertencentes a esse ponto e correspondendo uma certa categoria, são cortadas em partes, e as folhas, ramos e caules de cada categoria são pesados separadamente [63].

- *Método de parcela*

O método de parcela por sua vez consiste em cortar toda biomassa de uma certa área pré-definida, denominado de corte total, que é basicamente determinar toda a biomassa florestal pelo corte e pesagem de todas as frações passo a passo, ou por amostragem em múltiplos estágios no qual corta-se todos os indivíduos, pesando-se todos os caules [63].

1.7.2. Método indireto

A metodologias para quantificar uma biomassa florestal atualmente usadas são baseadas principalmente em dados de inventário florestal, aplicando fatores e

equações de biomassa, que transformam dados de diâmetro, altura ou volume em estimativas.

Este método consiste em utilizar equações alométricas, regressões de dados provenientes de inventários florestais (DAP, altura, volume) por imagens satélites, utilizando uma base de dados num sistema de informação geográfica (SIG). Esta técnica não usa a destruição florestal [64], [62], [55].

- *Imagem de satélite*

Para análise estimativa de biomassas disponíveis em uma determinada área é importante a realização do seu mapeamento, uma vez que este permite o fornecimento de recursos para o seu planeamento e gestão. Para auxiliar com os mapeamentos têm-se as geotecnologias como os Sistemas de Informação Geográfica (SIG) e o Sensoriamento Remoto, que são consideradas como ferramentas muito eficientes para a monitorização dessas áreas.

- *Fatores de expansão de biomassa (BFs)*

Os fatores de expansão de biomassa consistem no uso de dados (volume) de certas partes das árvores ou povoamentos de acordo com os dados dos inventários florestais ou outras estatísticas nacionais e de seguida multiplica-los por um fator ou fatores (que reduzem ou expandem) da espécie a ser estimada, que por sua vez convertem os valores encontrados para estimativas de biomassa produzida [65].

A utilização da equação permite calcular a quantidade da biomassa total de uma árvore em função do diâmetro à altura do peito (DAP), ou DAP juntos com outros das amostras medidas [65], [64]: $B = P \times BF$, em que **B** representa a biomassa (massa vegetal fresca ou seca, Kg ou ton), **P**, uma árvore disponível ou parâmetro de suporte (i.e, volume da árvore, m³) e **BF**, um fator de biomassa apropriado que pode incluir uma conversão e, se necessário uma componente de expansão [65].

Os fatores usados para estimar uma biomassa podem diferir consideravelmente um dos outros, isso dependendo para que a conversão da expansão é feita. De um modo geral o BF varia por espécie e de acordo com o tamanho da árvore e seus componentes (por exemplo, (folhagem, e galhos). Lehtonen et al. (2004) [65], descobriram que os fatores usados para estimar a biomassa eram dependentes da

idade do povoamento, enquanto Fang et al. (2001) e Schroeder et al. (1997) [65], relataram que fatores de expansão de biomassa como uma função do volume do caule. Outros autores defendem que os fatores variam de acordo com a fertilidade do local, com locais férteis tendo relativamente mais biomassa em comparação com os locais pobres.

A biomassa agrícola é considerada como a biomassa residual associada à prática agrícola, que após as colheitas é deixada no campo e vista como subprodutos da colheita e processamento de safras agrícolas. Essas biomassas podem ser caracterizadas como resíduos primários ou do campo, quando são gerados no campo no momento da colheita, por exemplo a palha de arroz, pontas de cana-de-açúcar, entre outros, e as biomassas caracterizadas como resíduos secundários ou de processamento por exemplo casca de arroz, bagaço [66], [67].

Apesar da possibilidade de a biomassa residual ser explorada para valorização energética, a disponibilidade de resíduos primários para a aplicação em valorização energética geralmente é baixa pelo fato da sua colheita ser difícil. Estes materiais têm prioridades para uso como fertilizantes ou ração animal, por exemplo. Geralmente, a biomassa agrícola pode ser estimada com base na área cultivada ou na produção agrícola para cada cultura através de fatores/ rendimentos de biomassa derivados da literatura, dados estatísticos regionais ou nacional [66].

Alguns autores propuseram relação entre produtos e resíduos, ou seja, a razão entre produção de cada cultura e a quantidade de resíduos que cada cultura gera, correspondendo por definição como fator da biomassa. É um método amplamente utilizado para estimar a disponibilidade de resíduos agrícolas para fins energéticos. Os fatores de biomassa referente às atividades agrícolas podem variar significativamente pelas práticas usadas e pelas condições locais e as condições climáticas, ou seja, dependem de região para região. Na tabela 10 encontra-se representada uma revisão de fatores de biomassa agrícola de diferentes países encontrados na literatura, fatores esses que são usados para converter a área ocupada por cada espécie em quantidade de biomassa produzida anualmente [66], [68].

Tabela 10: Revisão de fatores de biomassa agrícola encontrados na literatura.

Espécie	Fator de Biomassa (ton/ha)	País	Fonte
Cereais	1,45	Portugal	[69]
Cereais	11,60	Portugal	[70]
Olivais	1.50	Portugal	[69]
Olivais	2,52	Croácia	[71]
Olivais	1,77	Croácia	[71]
Olivais	1,70	Itália	[72]
Olivais	1,61	Espanha	[73]
Vinhas	7,50	Portugal	[70]
Vinhas	3,65	Espanha	[73]
Vinhas	4,46	Portugal	[74]
Vinhas	7,00	Portugal	[69]
Vinhas	2,90	Itália	[72]
Vinhas	4,97	Portugal	[74]
Pomares	2,00	Portugal	[66]
Pomares	3,05	Espanha	[68]
Pomares	2,80	Portugal	[68]
Pomares	7,41	Grécia	[68]
Pomares	2,16	Itália	[68]
Pomares	3,91	Espanha	[73]

- *Equações de biomassa*

A equação de biomassa utiliza uma equação específica capaz de prever a biomassa (total ou parcial) de uma árvore em função das suas dimensões, obtêm-se por métodos diretos sem ter de destruir árvores, de modo a facilitar o cálculo de biomassa em regiões grandes, a principal ideia consiste em estabelecer uma relação entre variáveis conhecidas e a biomassa. Deste modo podem ser utilizadas [56]:

- a) Funções alométricas;
- b) Funções de biomassa;

Assim como os fatores de biomassa, as equações alométricas para estimar a biomassa arbórea acima do solo também dependem do tipo de vegetação espécie medida (plantações florestais em monocultura e bosques naturais, ou até mesmo para árvores dispersas) e tipo de componente [64]. Não existe uma equação alométrica universalmente aceite para a previsão de biomassa e a maioria das literaturas adota a função de potência de $B = aD^b$, onde **B** representa a biomassa acima do solo (massa verde ou seca, Kg), **D** representa o diâmetro do tronco (em cm) e **a** e **b** representa os coeficientes da equação [75].

Já a função de biomassa consiste em estabelecer a relação entre variáveis de ecossistemas, como a cobertura vegetal, o volume, a área basal, que através de informações resumidas dos inventários florestais ou mapas de vegetação podem ser utilizadas para estimar a biomassa [56].

As equações de biomassas também podem ser construídas de acordo com níveis de árvores e povoamentos. De acordo com níveis de árvores as equações relacionam quantidade da biomassa amostradas às dimensões que são fáceis de medir para um grande número de árvores. Estas dimensões incluem por exemplo o diâmetro na altura do peito e altura das árvores, no qual o diâmetro à altura do peito é mais usado devido a facilidade de precisão ao ser medido e a relação que possui com o volume e a idade da árvore [65], [68].

CAPÍTULO II – METODOLOGIAS

Neste capítulo procede-se a uma descrição detalhada dos métodos e procedimentos utilizados no desenvolvimento deste trabalho. O objetivo deste capítulo consistiu em obter o conhecimento sobre as quantidades de resíduos de agrícolas produzidos, e por estimativa, nos distritos de Portalegre, Évora e Beja. Com isso pretende-se apresentar a produtividade da biomassa agrícola estimada pela COS e analisar as características do solo na caracterização da biomassa e na produtividade real de produção da biomassa, de modo a avaliar a influência do solo. E por fim avaliar uma possível valorização energética da biomassa em estudo.

2.1. Caracterização da área de estudo

O Alentejo é uma das sete, e a maior, das regiões integradas no NUTS II de Portugal, ocupando uma superfície geográfica de aproximadamente 31.604,90 Km² o que representa 34,3% do território nacional. Com a integração da Lezíria do Tejo, NUTS III, na NUTS II, Alentejo passou a ser composta por 5 sub-regiões NUTS III: Alto Alentejo, Alentejo Central, Alentejo Litoral e Baixo Alentejo (tem uma área mais extensa das 5 Sub-regiões NUTS III, apresentando uma área de 8.542 Km² aproximadamente) [76].

De acordo com a literatura [77], a região centro-sul do Alentejo é predominantemente agrícola com um importante contributo a nível nacional, com produção de 80% de azeite, 60% de cereais e 50% de gado. É também nesta região que se produz a maior parte da cortiça, da qual Portugal é o maior produtor mundial. O Alentejo apresenta características socioeconómicas e climáticas distintas de uma região mediterrânea e montanhosa, identificando-se algumas áreas bem posicionadas para se aproveitar ao máximo as oportunidades oferecidas pela valorização da biomassa, dado a existência de uma variedade de flora, com destaques para o pinheiro (*Pinus pinaster* e *Pinus Pinea*), eucalipto (*Eucalyptus globulus*), azinheira (*Quercus rotundifolia*) e sobreiro (*Quercus suber*) [78], [79].

Em 2011 a população do Alentejo rondava os 757302 habitantes, com uma tendência nítida a decrescer em todas as regiões, segundo os dados da INE, atualizado em 2021.

Foi observada uma evolução negativa da população residente, nos últimos 10 anos. A população na atualidade ronda os 704707 habitantes e a Lezíria do Tejo apesar de ter a menor área extensa das outras 4 sub-regiões da NUTS III, é a sub-região com maior número de população residente [80].

A área de estudo correspondente ao trabalho, por razões de disponibilidade de dados, conforme representado na figura abaixo, inclui nove concelhos do distrito de Portalegre (Alto Alentejo), doze concelhos do distrito de Évora (Alentejo Central) e também doze concelhos do distrito de Beja (Baixo Alentejo) (Figura 10).

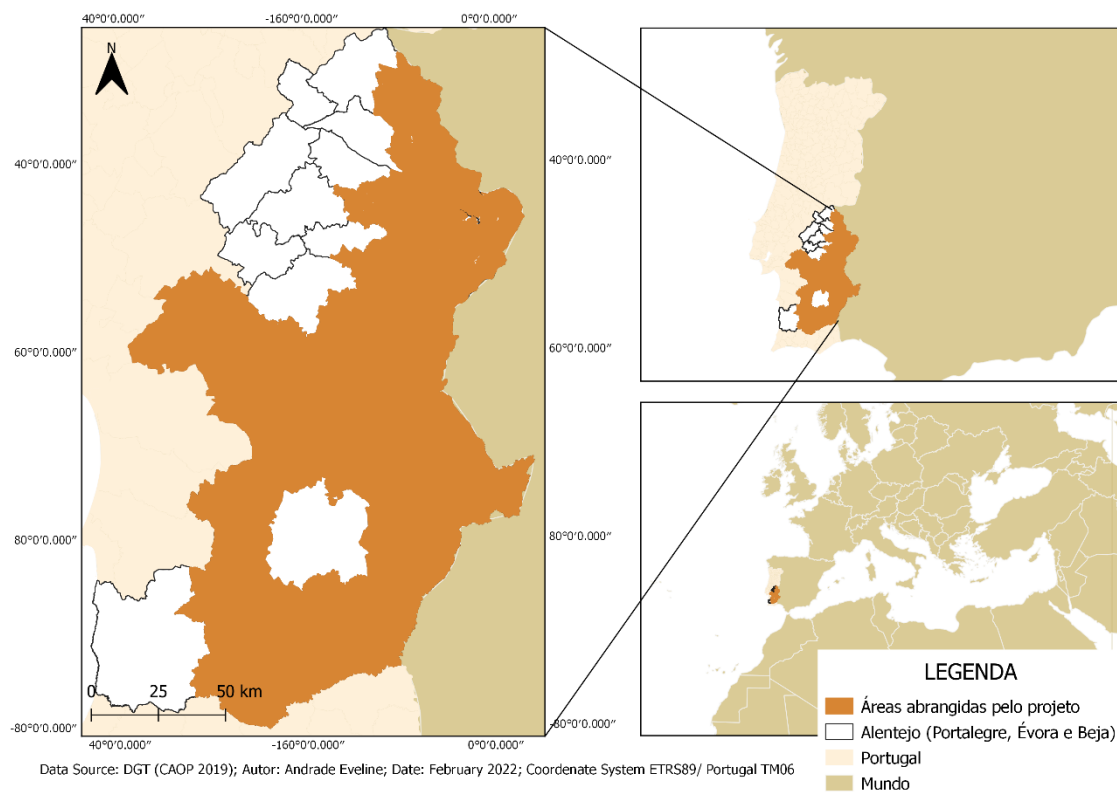


Figura 10: Enquadramento geográfico do território alentejano e da área em estudo

2.1.1. Distrito de Portalegre

O distrito de Portalegre, representado na figura 11, tem uma área territorial de aproximadamente de 6084,34 km², que corresponde a cerca de 20% da área representada pela Região do Alentejo. É constituída por 15 concelhos: Alter do Chão,

Arronches, Avis, Campo Maior, Castelo de Vide, Crato, Elvas, Fronteira, Gavião, Marvão, Monforte, Mora, Nisa, Ponte de Sor e Portalegre [69]. Apresenta um relevo razoavelmente montanhoso e um clima de grandes amplitudes térmicas, com um calor excessivo no verão e bastante frio no inverno, o que faz com que a vegetação seja muito diversificada. A superfície agrícola utilizada média por exploração agrícola corresponde a 56,2ha e os cobertos florestais e agrícola atingem 44% e 41% respetivamente, segundo os dados de IFN5. Relativamente à atividade económica, o Alto Alentejo apresenta 54% da população. Para caracterização físico-química do solo, o estudo realizou-se no concelho de Elvas na parcela de culturas de sequeiro e regadio no qual o solo analisado integrado na Herdade de Comenda e o solo do olival na Herdade do Reguengo. A classificação dos solos descritos tem por base a classificação segundo a carta CNROA (tabela 11), em que segundo [81], os solos são classificados como (Aa+A) e (Pag+Sr):

- **Aa+A**: solos incipientes - Aluviosolos Moderno, não calcários de textura mediana e Aluviosolos Modernos não calcários de textura pesada;
- **Pag**: solos Argiluvitados Poucos Saturados, pardos de materiais não calcários, Para-Solos Hidromórficos, de arenitos ou conglomerados argilosos ou argilas (de textura arenosa ou franco-arenosa);
- **Sr**: solos Argiluvitados Poucos Insaturados-Solos Mediterrâneos, vermelhos ou Amarelo, de materiais não calcários de “rañas” ou depósitos afins;

Tabela 11: Lista de solos colhidos na Herdade de Comenda

Amostra	SOLOS CNROA
Argila 1, A1	Amostra colhida em solo Aa + A
Argila 2, A2	Amostra colhida em solo Aa + A
Argila 1*, A1*	Amostra colhida em solo Pag + Sr
Argila 2*, A2*	Amostra colhida em solo Pag + Sr

Fonte [81]

A informação relativa aos solos (unidades-solo mais importantes, de acordo com a Carta Complementar 1:25.000, e respetivo agrupamento por famílias, assim como a

correspondência com os Grupos de Solos de Referência da Classificação da FAO), mostra-se no Anexo II. Deste, destaca-se a tabela 28 onde se pode observar que, dos principais agrupamentos de solos ocupados por olival, dominam as famílias que integram os agrupamentos C e Mh, respetivamente, Solos Calcários Normais e Solos Mediterrâneos Para-Hidromórficos de materiais sedimentares.

Tendo presente alguns dos riscos elencados (perda de nutrientes, salinização, erosão, compactação e contaminação), procedeu-se a uma primeira estimativa da suscetibilidade de algumas unidades-solo a estes tipos de risco, com base no conhecimento das suas características gerais (vd. Tabela 29 no Anexo II) [82].

O solo da cultura do Olival que por sua vez foi classificado de acordo com a tabela 12.

Tabela 12: Lista de solos colhidos nas parcelas de olivais

Amostra	SOLOS CNROA
Olival 1	Amostra colhida em solo Aac+ Ac
Olival 2	Amostra colhida em solo Aac + Ac
Olival 3	Amostra colhida em solo Vcv

Fonte [81]

Em que:

- **Aac:** solos Incipientes – Aluviossolos Modernos, calcários, de textura pesada;
- **Ac:** solos incipientes modernos, calcários, de textura mediana;
- **Vcv:** Solos Argiluvitados Poucos Insaturados – Solos Mediterrâneos, Vermelhos ou Amarelos, de Materiais Calcários, Normais, de calcário cristalino associado a outras rochas cristalinas básicas;

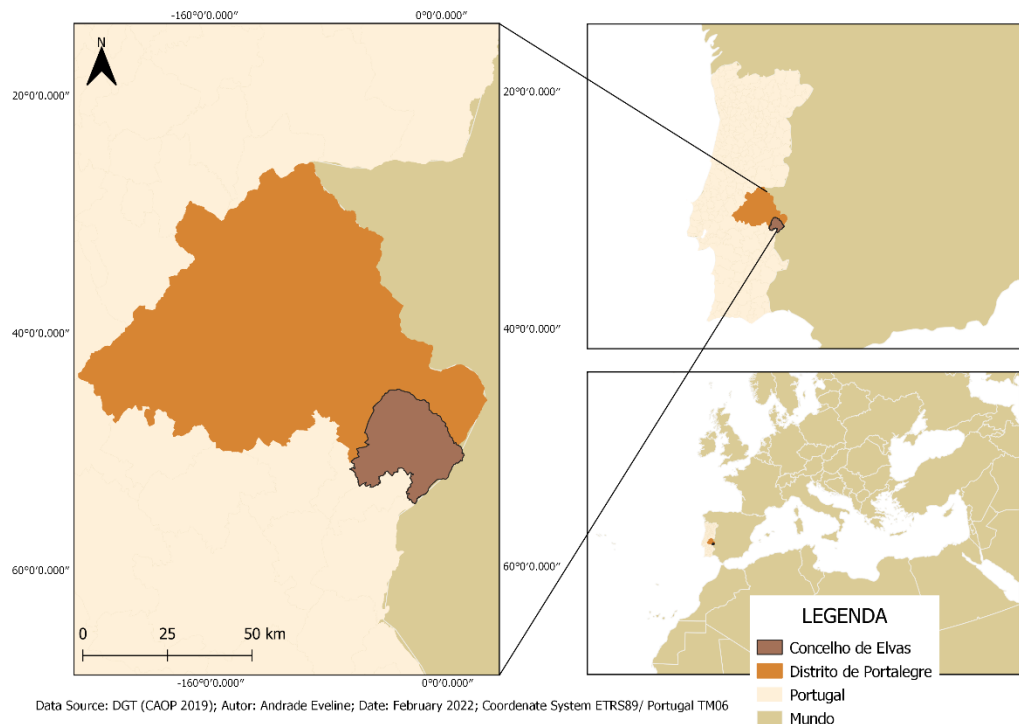


Figura 11: Localização do distrito de Portalegre e das áreas trabalhadas pelo projeto

2.1.2. Distrito de Évora

O distrito de Évora, representado na figura 12, é uma região quase plana, tem uma área territorial de 7393,46 km², compreendendo quinze concelhos: Évora, Alandroal, Arraiolos, Borba, Estremoz, Montemor-O-Novo, Mora, Mourão, Portel, Redondo, Reguengos Monsaraz, Sousel, Vendas Novas, Viana Alentejo e Vila Viçosa.

Tem uma população estimada em torno de 152.511 habitantes segundo os dados do INE, apresenta um clima mediterrâneo, com temperatura média anual de 15,8°C, no qual tem grandes variações mensais, no qual a média mais elevada regista-se no mês de agosto (23,3°C) e a mais baixa no mês de janeiro (9,3°C). Os verões são quentes e secos e as chuvas são distribuídas de maneira desigual ao longo do ano, a pluviosidade máxima regista-se no inverno [70]. A superfície agrícola média por exploração agrícola é de 78,2ha.

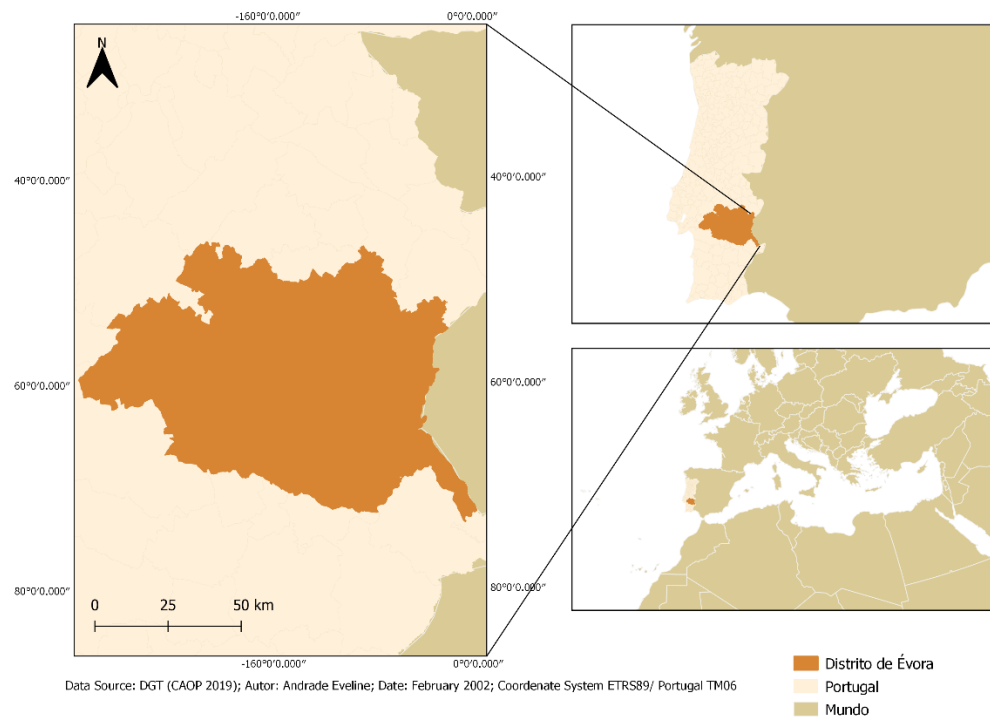


Figura 12: Localização do distrito de Évora e das áreas trabalhadas pelo projeto

2.1.3. Distrito de Beja

O distrito de Beja, representado na figura 13, tem área total de 8542,72 km² fica localizada no sudeste de Portugal Continental, a Norte é limitada pela Sub-região Alentejo Central (distrito de Évora), a Sul pelo Algarve, a Oeste pelo Alentejo Litoral e a Este pela Espanha. É constituída pelos Municípios de Alvito, Cuba, Vidigueira, Moura, Barrancos, Ferreira do Alentejo, Beja, Serpa, Aljustrel, Ourique, Castro Verde, Mértola e Almodôvar. Apresenta um relevo com predomínio de superfície plano e um clima com um inverno de intensidade moderada no período entre dezembro e fevereiro, em que se observam temperaturas mínimas com regularidade inferiores a 5°C. Por outro lado, o verão é “escaldante” com ar muito quente e extremamente seco, podendo registar temperaturas superiores a 40°C, [69]. Superfície agrícola utilizada media por exploração agrícola é de 69,8ha.

A agricultura é uma ação predominante no Baixo e Alto Alentejo; nesses distritos a ocupação agrícola representa pelo menos 35% da sua área, no qual predominam as

culturas temporárias de sequeiro e regadio (cereais), com uma área equivalente ao somatório das 3 classes: Olivais, vinhas e pomares [83].

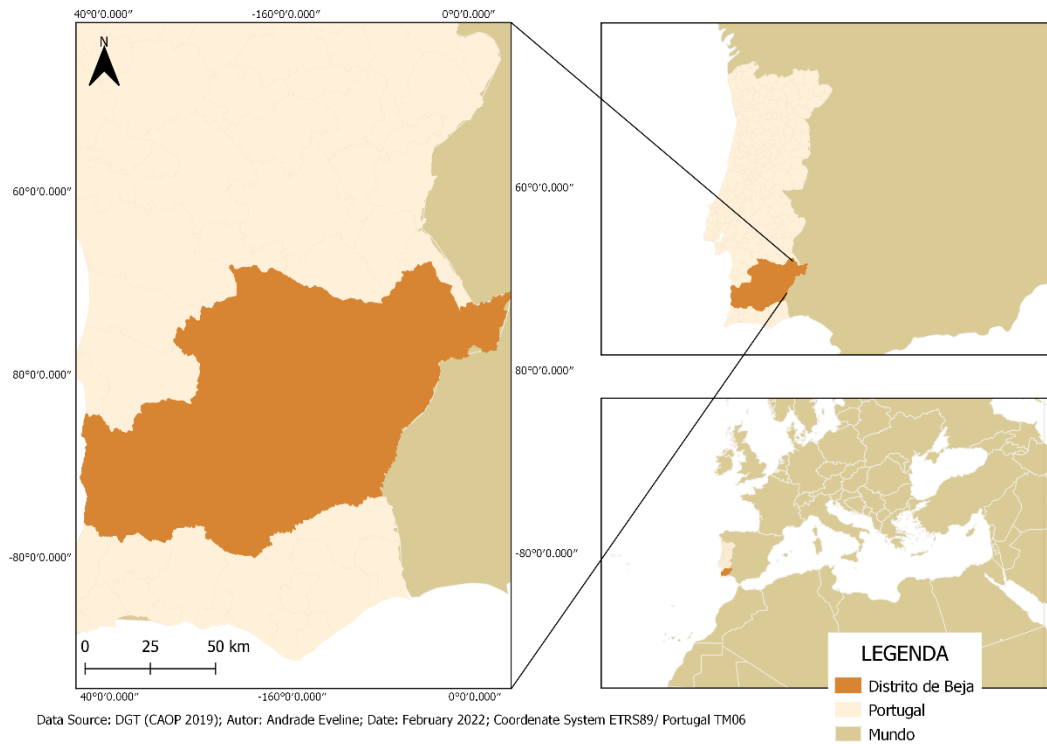


Figura 13: Localização do distrito de Beja e das áreas trabalhadas pelo projeto

2.2. Informação geográfica da produção de biomassa

2.2.1. Metodologia de processamento de imagem

A avaliação de produção de biomassa de resíduos agrícolas no Alentejo baseou-se numa metodologia centrada no recurso de imagens Satélite Sentinel-2 do sensor MSI com uma resolução espacial de 10m (apresentado na tabela 13), adquiridas no ano de 2021. O processamento das imagens foi estruturado nos seguintes passos:

- Primeiramente, foi efetuada uma consulta no site da *Copernicus Hub* e efetuou-se o *download* das imagens referentes a área em estudo. As datas das imagens escolhidas correspondem ao mês de junho e julho, datas essas em que as culturas em estudo estão praticamente no fim do seu ciclo de produção e consequentemente altura ideal para a colheita de resíduos agrícolas. E das 13 bandas espectrais não foram utilizadas as bandas B01, B09 e B10 uma vez que

estas possuem uma resolução espacial muito reduzida e as partes do espectro a que correspondem não possuem informações relevantes para a classificação do uso do solo;

- b) Fez-se uma operação de *pansharpening* usando *OSGeo4WShell* aplicando o código: for %i in (*.jp2) do gdalwarp -t_srs EPSG: 32629 -t_srs EPSG:25829 -tr 10 10 %i %~ni_reamostrada.tif. Trata-se de um processo de reamostragem de imagens que melhora a resolução de imagens, onde as imagens de menor resolução são transformadas em imagens de maior resolução, obteve-se assim 10 bandas reamostradas;
- c) De seguida efetuou-se o *Layer stacking* que é um processo de junção onde as 10 bandas reamostradas foram convertidas em uma única imagem tif;
- d) As imagens reamostradas (tif) foram sobrepostas com os limites administrativos CAOP2019 com o intuito de ter imagens referentes aos concelhos pretendidos de acordo com a área de estudo;
- e) Processamento de Imagens;

A metodologia implementada baseou-se também na interação dessas imagens com um conjunto de dados representados na tabela 14. E a tabela 15 indica os dados requeridos na avaliação de produção da biomassa.

Tabela 13: Bandas espectrais do sensor MSI utilizadas no estudo.

Resolução	Bandas	Nome das bandas	Comprimento de onda (nm)
10 m	B2	Blue	492,4
	B3	Green	559,8
	B4	Red	664,6
	B8	Nir	832,8

Tabela 14: Dados usados na construção da base de dados SIG referente ao Alentejo

Tipos de Dados	Fonte
Carta Administrativa Oficial de Portugal, CAOP 2019	[84]
Copernicus Open Access Hub, Imagem Sentinel-2A	[85]
Carta de Ocupação de Solos, (COS2018)	[86]
Classes de Corine Land Cover	[87]

Tabela 15: Requisitos de dados para zonagem digital por SIG da produção da biomassa no Alentejo

Fontes de Biomassas	Atributos
Biomassas Agrícolas	Espécie Cultivada
	Área de Cultivo
	Produtividade dos resíduos

2.2.2. Índice de Vegetação por Diferença Normalizada, NDVI

Utilizou-se o software QGIS em função das imagens satélite, banda4-RED e banda8-NIR para o cálculo do NDVI, que como referido no estado de arte, o NDVI, é um índice de vegetação que tem como objetivo a obtenção de valores de refletância das folhas nos diferentes estágios da natureza.

$$NDVI = \frac{(band8 - band4)}{(band8 + band4)} \quad \text{Equação 5}$$

No qual obteve-se a seguinte imagem:

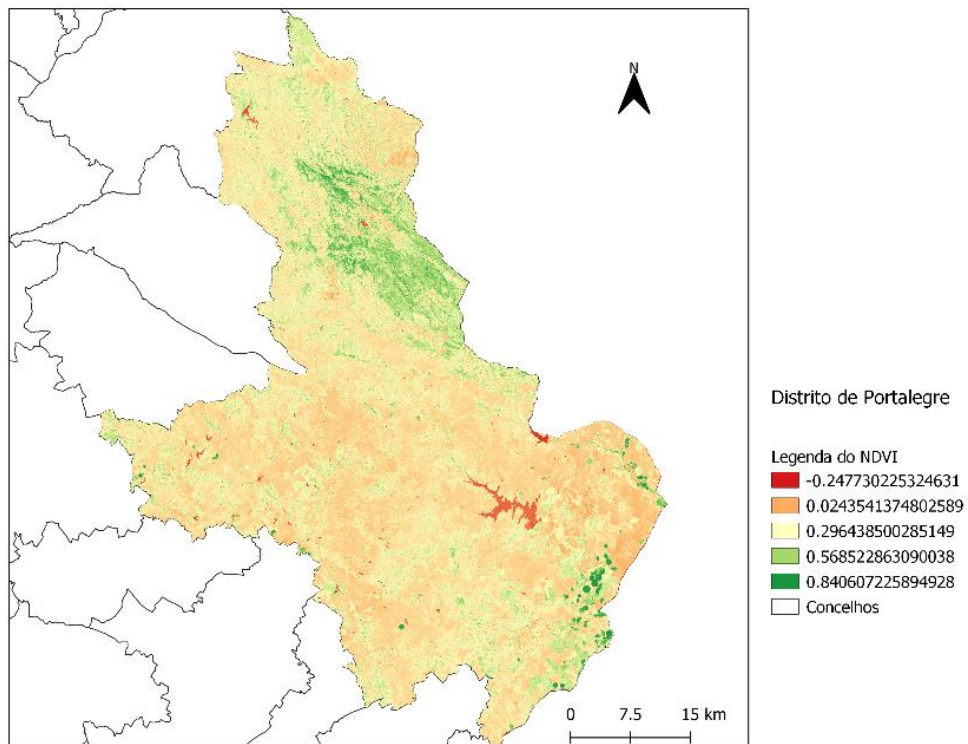


Figura 14: Exemplo de Imagem de NDVI da área do estudo do distrito de Portalegre

Com valores compreendidos nos intervalos de:

- [-0.08; -0.03]: Água;
- [-0.0161812; 0.17711]: NDVI fraco;
- [0.231722; 0.290002]: NDVI intermediário;
- [0.345542; 0.417491]: NDVI menos forte;
- [0.550296; 0.800661]: NDVI forte;

2.2.3. Área efetiva

Para estimar a biomassa residual agrícola produzida em cada distrito foi necessário identificar cada uma das classes de cobertura agrícola. Este procedimento utilizou como base a informação contida na COS2018 e inclui a classificação de cada unidade da paisagem da carta (polígono) com o objetivo de identificar as zonas de origem agrícola.

De seguida, foi necessário reclassificar o NDVI calculado, no QGIS usando a ferramenta de processamento e o algoritmo “reclassificar por tabela” e atribui-se valores de 1 a 5 conforme mostra a tabela 16, com o objetivo de segmentar a densidade de área fotossinteticamente ativa por área produtiva, no caso a biomassa.

Tabela 16: Reclassificação do NDVI

Mínimo	Máximo	Valores atribuídos	Classificação
-2	0.01	1	Corpos de água
0.01	0.17	2	Solo exposto
0.17	0.35	3	Gramíneas
0.35	0.55	4	Plantas/culturas com grau de seca
0.55	1	5	Plantas/culturas com forte atividade fotossintética

De seguida, ainda no QGIS com a ferramenta de processamento, usando o algoritmo “recortar raster pela camada de máscara”, utilizou-se o NDVI reclassificado em função da classe da cultura agrícola pretendida (selecionada na COS2018), obtendo-se assim a classe da cultura pretendida. E por último, usou-se o algoritmo “*r.report*” ainda na ferramenta de processamento e calculou-se a área da cultura agrícola pretendida (a que foi recortada).

Fez-se o mesmo procedimento para todas as culturas agrícolas de todos os concelhos das áreas de estudo e somou-se o valor total com a ajuda do *Microsoft Excel*.

2.2.4. Produtividade da biomassa

Após a quantificação das áreas agrícolas na área de estudo através da análise do NDVI e da ocupação do solo, procedeu-se ao cálculo da produtividade de biomassa agrícola da área de estudo. A produtividade da biomassa foi definida como a quantidade anual de biomassa residual (ton secas/ano) proveniente das atividades agrícolas, capaz de ser explorada para fins energéticos. Com base em [68], as quantidades anuais de biomassa agrícola foram então calculadas através da seguinte expressão:

$$\pi^{B_{et}} = \sum e \sum n \sum t A_{nt}^{ef} n_e^P n_e^R \quad \text{Equação 6}$$

Em que o autor [68], considera que:

- $\pi^{B_{et}}$: Produtividade da biomassa (ton secas/ ano);
- A_{nt}^{ef} : Área efetiva de cada polígono, no território (em ha);
- η_e^P : Produtividade de resíduos da espécie “e” (em ton secas/ha/ano);
- η_e^R : fração de resíduos da espécie “e” que podem ser efetivamente usados para produzir energia;

A fórmula do somatório na equação 6, foi substituído pelo valor da área efetiva encontrado no ponto anterior de acordo com cada cultura no respetivo distrito ou concelho. Para o cálculo de produtividade dos resíduos agrícolas o autor [68], utilizou o valor de $\eta_e^R = 0,25$ para os resíduos da cultura de sequeiro, uma vez que estas são usadas para alimentação animal ou o resto permanece no solo aproveitado como proteção do solo contra a erosão eólica e fertilizante e “0,60” para árvores de fruto como pomar, olival e vinhas. A tabela 17 resume os valores de η_e^P para a sua respetiva espécie.

Os valores da produtividade de cada cultura disponível na tabela 17, foram extraídos da tabela 10 que correspondem a literaturas de estudos realizados na região do Alentejo.

Tabela 17: Valores da produtividade de resíduos (ton secas/ ha/ ano) de cada espécie em estudo

Família de biomassa	Produtividade de resíduos, η^P_e (ton secas/ha/ano)
Cerais	1,45
Olival	1,50
Pomar	2,00
Vinhas	7,00

Fonte [68], [69]

2.3. Caracterização das propriedades físico-químicas dos solos

Em parcelas experimentais do INIAV, Pólo de Inovação de Elvas na Herdade da Comenda com culturas anuais – trigo, cevada, leguminosas, grão – e na Herdade do Reguengo – olival, procedeu-se a caracterização dos solos, ao acompanhamento do ciclo anual.

Para a caracterização das propriedades físico-químicas dos solos foram recolhidas 11 amostras de solo nas parcelas em estudo.

As amostras podem ser colhidas em qualquer época do ano, desde que a humidade do solo o permita, evitando a colheita de amostras de terra em locais encharcados, próximos de caminhos, de habitações, de estábulos ou anteriormente ocupados com montes de estrume, adubos, cinzas ou outros contaminantes.

2.3.1. Materiais para recolha das amostras do solo

- Sonda;
- Baldes;
- Martelo;
- Sacos e etiquetas para identificação de amostras;

2.3.2. Metodologia para colheitas das amostras do solo

Para colheitas das amostras de terra/solo, seguiu-se o modelo Mod.LQARS-083/1 (05.2021) antes da instalação das culturas, com a ajuda dos materiais referidos no ponto 2.2.1, [88].

Primeiramente se o terreno não for uniforme, deve ser dividido em parcelas homogêneas, levando em consideração algumas características como, a cor, a textura, declive, drenagem, últimas culturas realizadas, entre outros, a profundidade de recolha de acordo com a cultura a instalar:

0 a 10cm – pastagens;

0 a 20cm – outras culturas anuais;

0 a 50cm – arbóreas e arbustivas;

Recomenda-se a colheita de duas amostras de terra, às profundidades de 0-20 cm e 20-50 cm, no caso de solos ácidos ou nas situações em que se esperam diferenças acentuadas de fertilidade entre as duas camadas de terra.

Em cada parcela (que não possua uma área superior a 5 hectares) devem ser recolhidas as amostras de terra em pelo menos 15 a 20 pontos diferentes, percorrendo em ziguezague para cada uma das parcelas homogêneas de acordo com a figura 15, e colocam-se as subamostras num balde limpo, misturando bem as subamostras eliminando algumas pedras, detritos e resíduos vegetais. Retirar cerca de 0,5 kg de terra para um saco de plástico e identificar cada amostra com etiquetas.

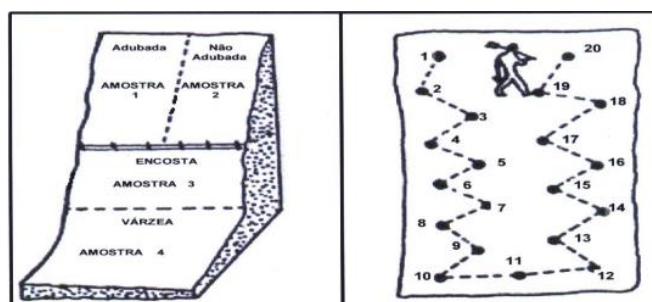


Figura 15: Representação esquemática das colheitas de amostras de terra

(Fonte [88])

Antes das amostras serem enviadas para o laboratório, estas deverão ser secas ao ar e mantidas à temperatura ambiente num local com o mínimo de flutuações de temperatura e protegidas da incidência de luz direta do sol.

▪ *Sumário do Procedimento Utilizado*

No dia 12/01/2022 realizaram-se colheitas de amostras de terra na zona de Monte da Comenda em duas parcelas de culturas anuais, antes da instalação das culturas, conforme representado na figura 16. Sendo o terreno homogéneo, com a ajuda de uma sonda e um martelo, fez-se a recolha em ziguezague colhendo de 15 a 20 subamostras, em diferentes pontos, a uma profundidade de 0-30 cm. De seguida colocou-se as subamostras de terra num balde limpo, misturou-se as subamostras, eliminando as pedras e resíduos vegetais. Retirou-se cerca de 0,5 kg de terra para um saco de plástico limpo e identificou-se cada uma das amostras (argila 1, argila 2, argila 1* e argila 2*), conforme representado na figura 16.

Antes de enviar as amostras para o laboratório, deixou-se as amostras a secar num local à temperatura ambiente, com o mínimo de flutuações de temperaturas e protegidas da incidência de luz direta do sol.



Figura 16: Colheita das amostras de solo da Herdade da Comenda antes da Instalação das Culturas

Após a colheita das culturas instaladas, fez-se novamente a recolha das subamostras de terra, recolhendo nos mesmos pontos e o mesmo procedimento de recolha das amostras sendo que dessa vez a recolha se fez com ajuda de uma enxada e pá porque

o solo se encontrava extremamente seco, dificultando a amostra agarrar-se à sonda e de seguida identificou-se as amostras como A1, A2, A1* e A2*.

No dia 14/04/2022 fez-se a colheita de 3 amostras de terra na cultura do olival. O procedimento foi basicamente o mesmo que o anterior, com a diferença das amostras compostas serem obtidas nas zonas de projeção das copas das árvores marcadas e na profundidade da colheita, que foi de 0-50 cm, conforme mostra a figura 17, somando num total de 11 amostras.



Figura 17: Colheita das amostras de solo em culturas dos Olivais

2.3.3. Análise físico-química do solo

A análise dos solos foi realizada no Laboratório de Química Agrícola (LQA), da Escola Superior Agrária de Elvas do IPP, e consistiu na determinação de um conjunto de parâmetros, que este laboratório chama de Pacote de Terras, designadamente: textura de campo, pH (H₂O), pH (KCl), condutividade, matéria orgânica, fósforo extraível (P₂O₅), potássio extraível (K₂O), cálcio extraível, magnésio extraível. O Pacote de Terras é frequentemente requerido por quem pretende estabelecer um plano de fertilização para as culturas a instalar ou para manutenção das culturas.

Terra fina

No solo existem partículas minerais de diferentes dimensões. Aqueles com dimensão inferiores ou iguais a 2 mm, recebem a designação de terra fina e é nesta fração que se procede às determinações. Deste modo, quando as amostras chegam ao laboratório, se secas, são passadas por um crivo de malha 2mm. Muito frequentemente são destruídos os pequenos torrões do solo antes da crivagem.

2.3.3.1. Materiais para análise química do solo

- pH (H₂O) e pH (KCl)
 - Balança técnica e potenciómetro;
- Condutividade
 - Balança analítica e condutímetro:
- Matéria Orgânica
 - Balança analítica e titulador automático;
- Determinação do Fósforo
 - Balança analítica e espectrofotómetro de absorção molecular;
- Determinação de potássio
 - Balança analítica e espectrofotómetro de absorção atómica;
- Determinação de Cálcio e Magnésio extraíveis
 - Balança analítica e espectrofotómetro de absorção atómica;

2.3.3.2. Metodologia da análise química do solo

- *Preparação da amostra*

Chegando no laboratório, primeiramente foram registadas as amostras. De seguida foram preparadas as terras finas, triturando e peneirando as amostras com a ajuda de um almofariz e um crivo de 2 mm, conservando-se em recipientes adequados.

- pH (H₂O) e pH (KCl)

Pesou-se 10g de terra fina para um copo de 50mL e adicionou-se 25mL de água destilada ou solução de cloreto de potássio, agitando-se com uma vareta. Esta mistura ficou em contacto durante uma hora, agitando-se aos 30 minutos e imediatamente antes de introduzir o eléctrodo na suspensão. Procedeu-se à leitura num potenciómetro (Figura 18). Os resultados são expressos em pH (H₂O) ou pH (KCl), à temperatura 25°C, por leitura direta na suspensão.



Figura 18: Análise do pH das amostras

- Condutividade

Pesou-se 15g de terra fina para um copo de 50mL, adicionou-se 30mL de água destilada e agitou-se com ajuda de uma vareta. Deixou-se um contato durante 2h30min.

De seguida imergiu-se o eléctrodo no sobrenadante da mistura solo: água (extrato) e procedeu-se à leitura do valor da condutividade até a estabilização do aparelho. O valor da condutividade elétrica na amostra é dado pela expressão: **CE (no solo) = CE (no extrato)** e os resultados são expressos em mScm-1 na amostra de solo, à temperatura de 25°C.

- Matéria Orgânica

Preparou-se uma suspensão para a análise, pesando-se 1,0g de terra fina para um copo de 500mL e colocou-se na *hotte*. Adicionou-se 10mL da solução de dicromato de

potássio e adicionou-se, com precaução, 20mL de ácido sulfúrico. Deixou-se reagir, em repouso durante 30min.

De seguida adicionou-se, à suspensão, 150mL de água e 10mL de ácido ortofosfórico. Deixou-se arrefecer a solução. Preparou-se o branco do ensaio e imediatamente antes da titulação adicionou-se 1mL da solução indicadora de difenilamina e titulou-se a mistura com a solução de sulfato ferroso, até o aparecimento de uma cor verde-esmeralda (Figura 19).

A quantidade de carbono orgânico total, presente na amostra de terra analisada, é

$$\text{dada pela expressão: } C = \frac{4(Vb - Va)}{m \times Vb}$$

C – Teor de carbono orgânico total do solo, expresso em %;

Vb – Volume de sulfato ferroso gastado na titulação do ensaio em branco, em mL;

Va – Volume do sulfato ferroso gastado na titulação da amostra, em mL;

m – Massa da toma de solo analisada, em g;

Pode obter-se o teor da matéria orgânica total, multiplicando o teor de carbono orgânico total (C) pelo do fator 1.724 (fator de *van Bemmelen*).

$$\% \text{ Matéria orgânica} = 1.724 * \text{carbono orgânico (C)}$$



Figura 19: Determinação da matéria orgânica

- Determinação do Fósforo

Na extração do fósforo (P) utilizou-se uma solução que combina uma solução meio de lactato de amónio e ácido acético, tamponizada com pH compreendido entre 3,65 e 3,75.

Esta solução atua na extração de fósforo através do controlo da reação do meio e da atividade do cálcio, e, na extração do sódio e do potássio, mediante a permuta dos iões, Na^+ e K^+ de troca pelo NH_4^+ . O doseamento de fósforo foi realizado por meio de Espectrofotómetro de absorção molecular (Figura 20).



Figura 20: Determinação do fósforo

- Determinação de potássio

Na extração do potássio (K), também se utilizou uma solução que combina uma solução meio de lactato de amónio e ácido acético, tamponizada com pH compreendido entre 3,65 e 3,75. A quantificação do potássio foi realizada por meio de espectrometria de absorção atómica, a 589,0 e 766,5nm.

- Determinação de Cálcio e Magnésio extraíveis

Na extração do cálcio (Ca) e magnésio (Mg) utilizou-se uma solução de acetato de amónio N, ajustada a pH 7,0. A leitura foi realizada por espectrometria de absorção atómica, a 422,7nm para o cálcio e a 285,2nm para o magnésio.



Figura 21: Determinação do potássio, sódio, cálcio e magnésio extraíveis

2.3.3.3. Metodologia para análise física do solo

O LQA não está vocacionado para análise física do solo, pelo que apenas se realizaram duas determinações desta natureza: a textura de campo e a percentagem de elementos grosseiros. Esta última, foi feita apenas numa amostra, a título demonstrativo, uma vez que no momento, não se reuniam as condições adequadas para esse fim.

A textura de campo consiste numa determinação expedita da textura do solo, dividindo-o em três tipos: solo de textura pesada, solo de textura média e solo de textura grosseira, como mostra a figura 22. Embora não se quantifiquem as partes relativas de cada uma das granulometrias (figura 23), a informação fornecida por esta determinação é suficiente para o agricultor poder tomar algumas decisões sobre a fertilização do solo.



Figura 22: Análise de textura de campo



Figura 23: Análise de elementos grosseiros

2.4. Caracterização da composição da biomassa de diferentes culturas

Como visto anteriormente em composição da biomassa vegetal, a biomassa tem na sua composição celulose, hemicelulose, lignina, etc, que são resultantes do processo de fotossíntese e que quantidade de cada componente depende da espécie, da fase e condição de crescimento [73], [31], [32].

Portanto, a caracterização da biomassa é uma técnica analítica muito importante, pois permite conhecer informações críticas sobre as biomassas que são necessárias para um projeto racional ou para melhorar a compreensão de um processo de produção de energia ou de novos combustíveis (líquidos ou gasosos). O desempenho de um gaseificador de biomassa é influenciado pela característica da biomassa utilizada, por isso conhecer as propriedades da biomassa e o seu conteúdo energético é de extrema importância para que um projeto de gaseificador de biomassa seja de confiança [74], [27].

As técnicas que descrevem a composição e o conteúdo energético da biomassa são [27], [73]:

- **Análise imediata:** determina o teor de matéria volátil, o carbono fixo, teores de humidade e cinzas;
- **Análise elementar:** determina-se a composição elementar da biomassa como o carbono, o oxigénio, hidrogénio, enxofre e o azoto;
- **Poder calorífico:** determina o conteúdo energético de uma biomassa, uma vez que, uma das características da biomassa para se tornar num bom combustível é pelo seu elevado valor do poder calorífico;

2.4.1. Materiais

As matérias-primas usadas neste trabalho são biomassas de origem lenhocelulósica, nomeadamente subprodutos de origem vegetal de cevada, trigo, centeio, biomassa proveniente das podas de oliveira colhidas na herdade de comenda e solo do Olival como referido acima. Os resultados foram obtidos com auxílio de um analisador

elementar Flash Thermo CHNS-O 2000, um equipamento de análise termogravimétrica TGA STA6000 PerkinElmer para realizar a análise imediata, e um calorímetro IKA C200 para o cálculo do PCS.

2.4.2. Metodologia

2.4.2.1. Análise imediata (Termogravimétrica – TGA)

A análise imediata foi realizada a fim de determinar os teores de humidade, voláteis, cinzas e carbono fixo das amostras de biomassa em estudo. Para a análise utilizou-se um equipamento de análise termogravimétrica TGA, em que pesou-se cerca de 3.5-4.5mg das amostras e realizou-se as análises a temperaturas compreendidas de 30 a 995°C a uma taxa de aquecimento de 30°C/min, em atmosfera oxidativa [89].

2.4.2.2. Análise elementar

A análise elementar determina a percentagem de massa que representa um elemento químico. Primeiramente triturou-se e homogeneizou-se as amostras. Utilizou-se um analisador elementar (Thermo Fisher Scientific Flash 2000 CHNS-O Analyser, em que as pesou-se as amostras homogeneizadas entre 2 e 3 mg, adicionou-se cerca de 5mg de *Vanadium Pentoxide* (dador de oxigénio), utilizou-se para uma conversão completa do enxofre e colocou-se em cadinhos de platina. Obteve-se os resultados por um cromatograma que reflete as concentrações de C, H, N, S e O presente na amostra da biomassa analisada [89].

2.4.2.3. Poder Calorífico

Para a análise do PCS utilizou-se uma bomba calorimétrica digital (modelo IKA C2000). Depois de homogeneizar as amostras, pesou-se aproximadamente $0,5 \pm 0,1$ g e colocou-se numa célula de decomposição, pressurizada a 30 bar de uma atmosfera de oxigénio. Obtendo assim o valor do PCS do combustível [89].

CAPÍTULO III – RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Resultados

3.1.1. Produtividade da biomassa em função do solo

3.1.2.1. Área efetiva

Como resultado da aplicação da metodologia descrita no capítulo 2, as tabelas 18, 19, 20 e 21 apresentam os resultados da área efetiva de produção da biomassa agrícola, para os distritos de Portalegre, Évora e Beja e a área efetiva de produção dos seus respetivos concelhos, com detalhe para o concelho de Elvas que é o concelho pertencente ao distrito de Portalegre onde se fez o estudo da caracterização do solo. Identificaram-se cerca de 75932ha, 160133ha e 247161ha de área efetiva de produção de biomassa agrícola, dos distritos de Portalegre, Évora e Beja, respetivamente.

No concelho de Elvas, identificou-se cerca de 24165ha de área efetiva de terreno com potencial para a produção de biomassa. As áreas de produção de culturas de sequeiro/regadio (62% da superfície total), olival (33%), pomares (3%) e vinhas (2%) estão representadas na Tabela 21 e na Figura 24 está a sua distribuição geográfica.

Tabela 18: Resultados da área efetiva de produção da biomassa agrícola (ha) por concelho no Distrito de Portalegre

Família de biomassa Agrícola	Área efetiva (ha)	%	Distrito de Portalegre	Área efetiva (ha)	%
CSR	43843,05	57,74	Campo Maior	17039,2	22,44
Olival	28120,67	37,03	Monforte	8278,1	10,90
Pomares	1973,25	2,60	Arronches	6016,62	7,92
Vinhas	1994,63	2,63	Portalegre	6088,22	8,02
			Fronteira	9532,93	12,55
			Marvão	2249,18	2,96
			Castelo de Vide	2561,9	3,37
			Elvas	24165,45	31,83
Total	75932				

Tabela 19: Resultados da área efetiva de produção da biomassa agrícola (ha) por concelho no Distrito de Évora

Família de biomassa Agrícola	Área efetiva (ha)	%	Distrito de Évora	Área efetiva (ha)	%
CSR	99024,08	66,16	Borba	7042,22	4,40
Olival	37196,24	24,85	Évora	49535,91	30,93
Pomares	129,74	0,09	Estremoz	15799,78	9,87
Vinhas	13326,13	8,90	Mourão	7684,62	4,80
			Viana	9934,02	6,20
			Portel	10151,08	6,34
			Alandroal	9802,06	6,12
			Reguengo	10477,45	6,54
			Vendas Novas	5973,41	3,73
			Montemor	18039,83	11,27
			Vila Viçosa	5235,81	3,27
			Redondo	10456,51	6,53
Total	160133				

Tabela 20: Resultados da área efetiva de produção da biomassa agrícola (ha) por concelho no distrito de Beja

Família de biomassa Agrícola	Área efetiva (ha)	%	Distrito de Beja	Área efetiva (ha)	%
CSR	150836,34	61,03	Ourique	7331,33	2,97
Olival	85501,64	34,59	Almodôvar	5531,45	2,24
Pomares	5641,3	2,28	Castro Verde	34871,36	14,11
Vinhas	5182,09	2,10	Barrancos	790,31	0,32
			Cuba	6497,25	2,63
			Mértola	30999,91	12,54
			Aljustrel	25777,18	10,43
			Ferreira	33050,37	13,37
			Alvito	6861,21	2,78
			Vidigueira	11629,76	4,71
			Moura	38367,24	15,52
			Serpa	45454	18,39
Total	247161				

Tabela 21: Resultados da área efetiva de produção da biomassa agrícola (ha) no concelho Elvas

Município	Tipo de Cultura	Área [ha]	%
Elvas	Culturas de Sequeiro/regadio	15083,08	62
	Olival	8017,09	33
	Pomares	639,22	3
	Vinhas	425,34	2
Total	24165		

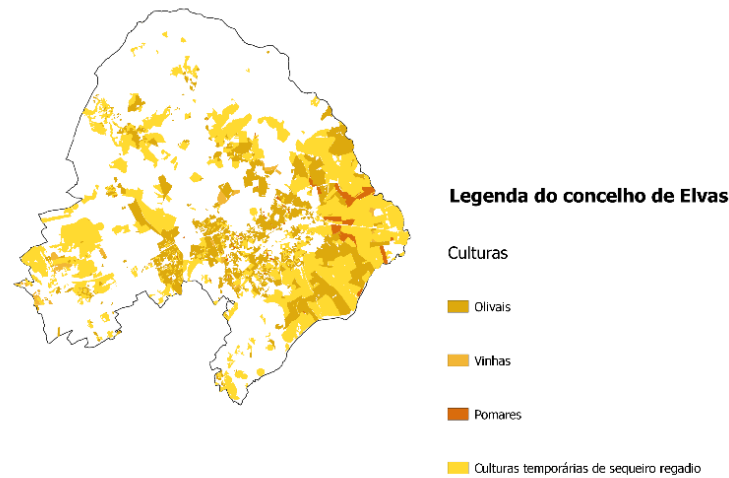


Figura 24: Distribuição geográfica das culturas agrícolas consideradas neste projeto

3.1.2.2. Produtividade

Com base nas estimativas da produtividade de biomassa representados na tabela 17 e as áreas efetivas de cada distrito e tipo de culturas, elaborou-se as tabelas 22, 23, 24 e 25 da quantidade de biomassa agrícola passível de ser usada para o seu aproveitamento energético.

Assumindo assim a não existência de perdas durante o processo de recolha para o distrito de Portalegre o resultado de produtividade de biomassa agrícola é de 51947 ton. secas/ano, em que o olival se apresenta como a cultura com maior produtividade e Elvas apresenta como um concelho com maior quantidade de biomassa agrícola produzida em que, o resultado de produção de resíduos da cultura de sequeiro e podas do olival é cerca de 5467,88 ton secas/ano e 7 215,38 ton secas/ano respetivamente, obtendo assim um total de cerca de 15 237 ton secas/ano de resíduos de biomassa agrícola conforme apresentado na tabela abaixo.

Tabela 22: Resultados da produtividade da biomassa agrícola (ton secas/ano) por concelho no distrito de Portalegre

Família de biomassa Agrícola	Produt. (ton seca/ano)	%	Distrito de Portalegre	Produt. (ton seca/ano)	%
CSR	15 893,11	30,59	Campo Maior	10 803,50	20,80
Olival	25 308,60	48,72	Monforte	6 118,74	11,78
Pomares	2 367,90	4,56	Arronches	3 806,36	7,33
Vinhas	8377,45	16,13	Portalegre	6 509,64	12,53
			Fronteira	5 882,19	11,32
			Marvão	1 742,37	3,35
			Castelo de vide	1 847,50	3,56
			Elvas	15 236,75	29,33
Total	51 947				

Tabela 23: Resultados da produtividade da biomassa agrícola (ton/ano) no concelho Elvas

Concelho	Cultura	Fator de produção [ton/ha/ano]	η^R_e	Produção [ton/ano]	%
Elvas	Culturas de Sequeiro	1,45	0,25	5 467,88	36
	Olival	1,5	0,60	7 215,38	47
	Pomares	2	0,60	767,06	5
	Vinhas	7	0,60	1 786,43	12
Total	15 237				

No distrito de Évora, obteve-se uma produtividade de biomassa total de 125 498 ton. secas/ano. As culturas de sequeiro e regadio apresentam-se como a cultura de maior produtividade e o concelho de Évora é o concelho como maior quantidade de biomassa.

Tabela 24: Resultados da produtividade da biomassa agrícola (ton secas/ano) de cada concelho no distrito de Évora

Família de biomassa Agrícola	Produt. (ton seca/ ano)	%	Distrito de Évora	Produt. (ton seca/ ano)	%
CSR	35 896,23	28,60	Borba	12 311,03	9,81
Olival	33 476,62	26,67	Évora	33 349,04	26,57
Pomares	155,69	0,12	Estremoz	16 830,63	13,41
Vinhas	55 969,75	44,60	Mourão	5 101,71	4,07
			V.Alentejo	4 664,93	3,72
			Portel	7 226,88	5,76
			Alandroal	8 292,73	6,61
			Reguengo	16 334,18	13,02
			Vendas Novas	6 206,73	4,95
			Montemor	10 839,40	8,64
			Vila Viçosa	4 341,03	3,46
			Redondo	16 309,06	13,00
Total	125 498				

No distrito de Beja, obteve-se uma produtividade total de 160 164 ton. secas/ano. O olival apresenta como a cultura de maior produtividade de biomassa agrícola e Moura representa o concelho com maior quantidade de biomassa produzida.

Tabela 25: Resultados da produtividade da biomassa agrícola (ton secas/ano) por concelho no distrito de Beja

Família de biomassa Agrícola	Produt. (ton seca/ano)	%		Distrito de Beja	Produt. (ton seca/ano)	%
CSR	54 678,17	34,14		Ourique	3310,09	2,07
Olival	76 951,48	48,05		Almodôvar	2 832,06	1,77
Pomares	6 769,56	4,23		Castro Verde	13 363,15	8,34
Vinhas	21 534,95	13,59		Barrancos	687,45	0,43
				Cuba	3 817,01	2,38
				Mértola	12 800,74	7,99
				Aljustrel	13 822,24	8,63
				Ferreira	21 888,46	13,67
				Alvito	5 381,84	3,36
				Vidigueira	16 877,25	10,54
				Moura	30 464,78	19,02
				Serpa	34 918,93	21,80
Total	16 0164					

3.1.2. Caracterização do solo de Elvas

Como referido no estado de arte, o solo é constituído por material sólido, mineral e orgânico, e por um espaço poroso por onde circula a água e o ar. O solo está em constantes alterações devido às ações de agentes atmosféricos, às práticas agrícolas, às mobilizações e à fertilização. Os minerais no solo disponíveis para as plantas dependem fortemente das alterações sofridas pelo solo.

As principais características de um solo são um dos fatores que influencia a quantidade de carbono, assim como, o microclima, o relevo, as espécies vegetais existentes ou a serem plantadas ou o ano de plantação, entre outros [64].

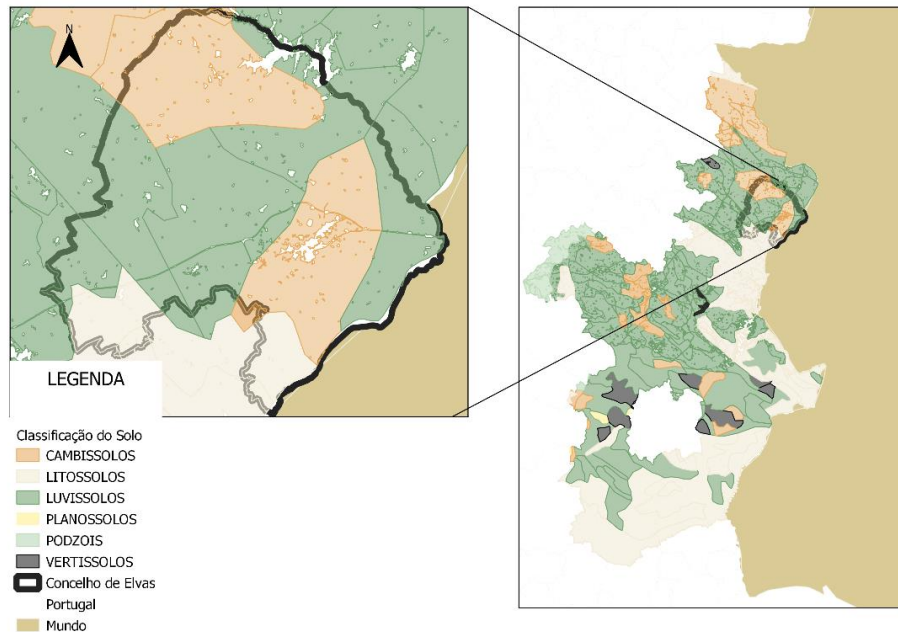


Figura 25: Distribuição geográfica do tipo de solo no concelho de Elvas

De acordo com a figura 25, o concelho de Elvas de acordo com o sistema FAO é maioritariamente formado por Cambissolos e Luvisolos. Um Cambissolo é descrito como um solo recente, derivado de materiais transportados de outros locais pela ação do vento, água ou gravidade e são caracterizados por sofrerem pouca eluviação. De acordo com [90], a maioria dos Cambissolos ocorrem em regiões com excesso de precipitação, mas em posições de terreno que permitem a descarga superficial do excesso de água, tem textura média e boa estabilidade estrutural, alta porosidade, boa capacidade de retenção de água e boa drenagem interna e uma reação do solo neutra a fracamente ácida, o que traduz numa fertilidade química satisfatória e uma fauna do solo ativa.

Os Luvisolos estão descritos como um solo normalmente fértil, tem propriedades físicas favoráveis, boa capacidade de armazenamento de água, a maioria destes solos são bem drenados com boa estrutura, contém uma pequena quantidade de M.O. Os

solos superficiais são normalmente total ou parcialmente descalcificados e ligeiramente ácidos podendo necessitar de uma calagem nas regiões de elevada precipitação [25], [90]. Nas zonas temperadas são amplamente cultivados para pequenos grãos, beterraba sacarina e forragem; em áreas inclinadas são utilizados para pomares e /ou pastagens. Na região do Mediterrâneo, onde os Luvisolos Crómicos, Cálricos e Verticais são comuns em depósitos coluviais de intemperismo calcário, as encostas inferiores são comumente semeadas para trigo e/ou beterraba sacarina, enquanto que nas encostas superiores (erodidas) são usadas para o pastoreio extensivo ou plantadas com árvores [91].

3.1.2.1. Resultado da análise do Solo da Herdade de Comenda antes e depois da instalação da cultura – culturas anuais;

A tabela 26 abaixo representada mostra os resultados apurados nas análises físico-químicas realizados em amostras compostas de duas parcelas do solo de culturas de sequeiro, antes da instalação das culturas e após a colheita. As amostras **argila 1**, **argila 2** e as amostras **argila1***, **argila2*** foram colhidas na mesma data – antes da instalação - e em duas parcelas diferentes. As amostras **A1**, **A2** e as amostras **A1*** e **A2*** foram colhidas após a colheita e correspondem às mesmas parcelas onde se tomaram a argila1, argila 2 e a **argila1*** e **argila2***, respetivamente.

Tabela 26: Resultados das análises dos solos Herdade da Comenda, antes e depois da instalação das culturas

Análise	Antes				Depois			
	Argila1	Argila2	Argila1*	Argila2*	A1	A2	A1*	A2*
Textura de Campo	Pesada	Média	Média	Pesada	Média	Média	Média	Pesada
pH (H ₂ O)	7,3	7,0	7,0	6,8	6,6	6,6	7,1	7,0
pH (KCl)	5,9	5,7	5,7	5,6	5,2	5,2	5,9	5,6
Condutividade	0,15	0,16	0,11	0,17	0,01	0,09	0,15	0,15
Matéria	1,5	1,5	1,9	1,7	1,5	1,5	2,2	1,6

Orgânica								
Fósforo extraível	173	155	125	137	129	126	132	120
Potássio extraível	84	88	99	104	100	108	160	124
Cálcio extraível	2006	1784	2296	1786	1075	880	1746	2336
Magnésio extraível	367	357	447	457	337	274	538	491

▪ **Textura**

Antes da instalação, as amostras **argila 1 e 2** e as amostras **argila1* e 2*** apresentaram texturas de campo diferentes: as amostras **argila 1 e 2*** revelam uma textura pesada enquanto as amostras **argila2 e 1*** apresentaram uma textura média. Após a colheita os resultados da textura de campo (Tabela 26) confirmaram a diversidade encontrada na primeira data.

A variabilidade encontrada poderá estar relacionada com a escolha dos pontos de recolha das amostras (que não foram exatamente os mesmos) e com o procedimento utilizado na recolha das amostras: antes da sementeira utilizou-se uma sonda para a recolha das amostras e após a colheita, no mês de junho, o solo encontrava-se muito seco, obrigando a recorrer à ajuda de uma enxada que não permitiu atingir a mesma profundidade de recolha da amostra da **argila1**.

▪ **PH**

O pH é uma importante propriedade do solo, uma vez que influencia a atividade dos microrganismos, a estabilidade dos agregados e a disponibilidade dos nutrientes para as plantas. Primeiramente esta propriedade depende da rocha mãe que lhe deu origem e dos processos de pedogénese [25].

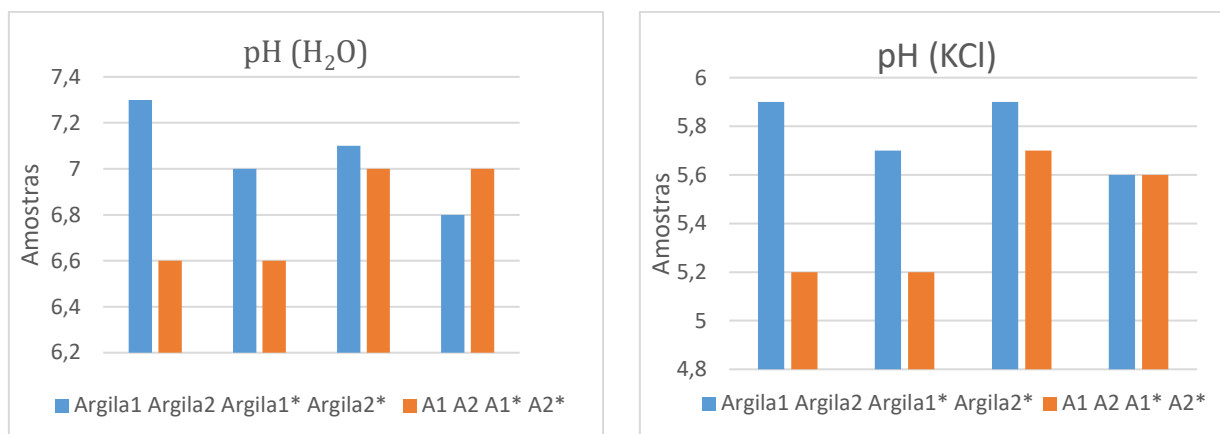


Figura 26: Resultado do pH do solo antes e depois da instalação das culturas

Nos solos da Herdade da Comenda, o pH (H₂O) variaram entre 7.3 para a **argila1**, 7.0 para a **argila 2**, 7.0 para a **argila1*** e 6.8 para **argila 2***. As amostras de A1, A1*, A2 e A2* apresentaram valores de pH (H₂O) de 6.6, 6.6, 7.0 e 7.1 respetivamente (Figura 26). De acordo com a tabela 6 do livro de Fertilidade do Solo, para valores de pH (H₂O) entre 6.6 – 7.5, o solo na Herdade da Comenda pode ser considerado neutro [23].

O pH (KCl) indica a acidez de troca, no qual temos uma aproximação de iões hidrogénio que existem na solução do solo mais a quantidade de iões hidrogénio e iões alumínio adsorvidos no complexo de troca (soma da acidez real com parte da acidez potencial). No pH (KCl) obtiveram-se os valores de 5.9 para **argila1**, 5.7 para **argila 2**, 5.9 para a **argila1*** e 5.6 para **argila 2*** (Figura 25).

Nos valores de pH (H₂O) e pH (KCl) das parcelas em estudo não houve grande variabilidade permanecendo na escala de designação como solo neutro.

▪ Condutividade

Os resultados obtidos para as quatro amostras, antes da sementeira e após a colheita, foram <0,40 mS.cm⁻¹ no extrato 1: 2 (solo: água) que correspondem a classificação do solo sem efeitos salinos (Figura 27).

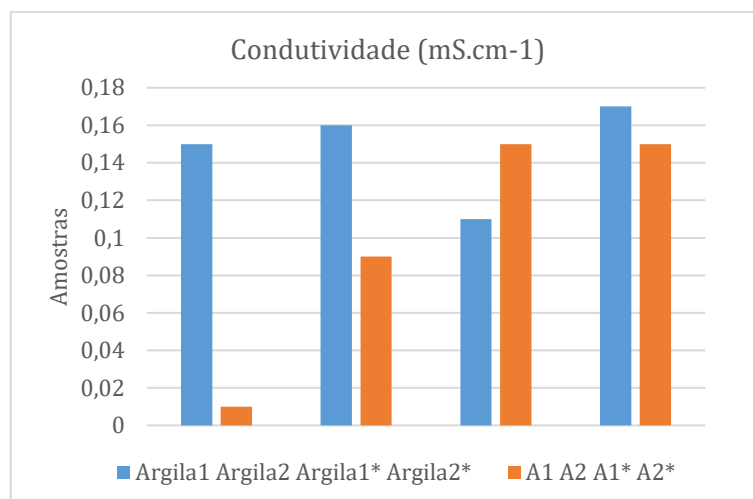


Figura 27: Resultado da condutividade do solo antes e depois da instalação das culturas

Comparando os resultados da condutividade no solo antes da sementeira com os obtidos após a colheita constata-se uma diminuição da condutividade em todas as amostras com exceção da A1* onde se verificou um aumento comparativamente a Argila 1*. Estes resultados explicam-se por serem obtidos em períodos do ano diferentes.

▪ **Matéria Orgânica**

Relativamente à matéria orgânica presente no solo, que é expressa em percentagem, nas amostras colhidas na Herdade da Comenda antes da sementeira, obteve-se valores de 1.5% para a **argila 1** e **argila 2**; 2.2% e 1.7% **para argila 1*** e **argila 2***, respetivamente. Após a colheita os valores de matéria orgânica nas amostras A1 e A2 mantiveram-se constantes (1.5%), enquanto em A1* se obteve um ligeiro aumento da MO em relação a amostra argila1 e em A2* uma ligeira descida; estas variações podem ser explicadas com a amostragem (Figura 28).

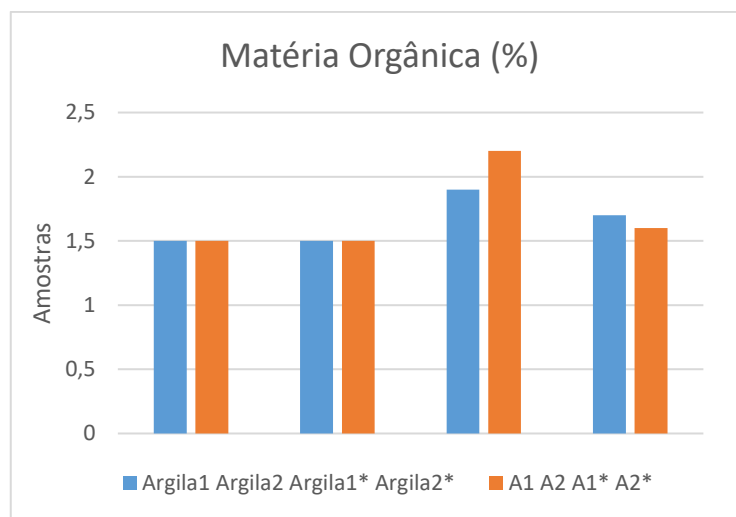


Figura 28: Resultado da matéria orgânica no solo antes e depois da instalação das culturas

▪ Fósforo e Potássio extraíveis

De acordo como o resultado para o fósforo extraível, obteve-se valores de 173 mg.Kg⁻¹, 155 mg.Kg⁻¹, 132 mg.Kg⁻¹ e 137 mg.Kg⁻¹ para **argila1**, **argila2**, **argila1*** e **argila 2***, respetivamente (Figura 29). Para o potássio obteve-se valores de 84 mg.Kg⁻¹, 88 mg.Kg⁻¹, 160 mg.Kg⁻¹ e 104 mg.Kg⁻¹ para **argila 1**, **argila 2**, **argila1*** e **argila 2*** respetivamente, classificados como valores médios, com exceção de **argila 2*** que é classificado como valor alto.

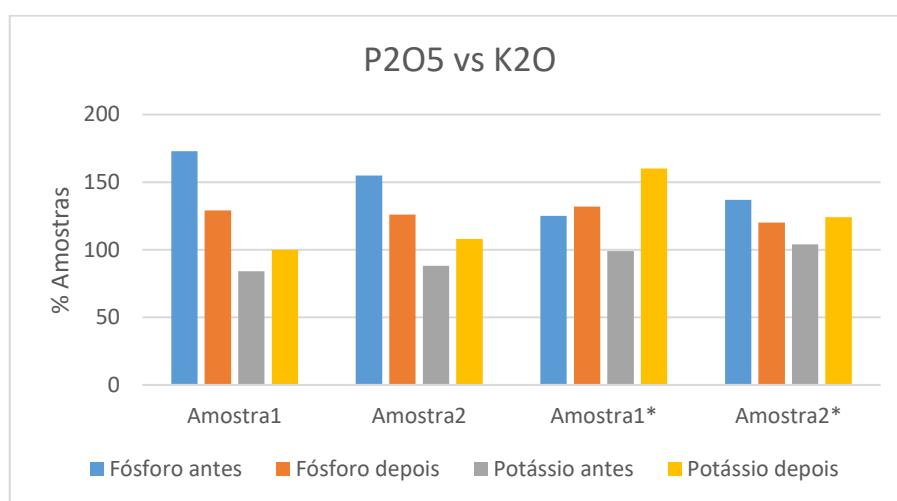


Figura 29: Resultados do fósforo e potássio no solo antes da instalação das culturas

Todos valores referentes ao teor de fósforo no solo, após a colheita diminuíram, o que será devido à absorção deste nutriente pelas plantas, durante o seu ciclo. Ainda assim, os valores após a colheita, mantiveram-se elevados. Já os valores do potássio aumentaram para as amostras de A1, A2 e A2* e a amostra de A1* apresentou um aumento no valor do potássio no solo após a colheita que poderá justificar-se pela prática de fertilização.

▪ **Cálcio e Magnésio**

Na análise obtiveram-se valores para o cálcio de 2006mg.Kg⁻¹, 1784mg.Kg⁻¹, 1746mg.Kg⁻¹ e 1786mg.Kg⁻¹ para as amostras de **argila 1**, **argila 2**, **argila1*** e **argila 2***, respetivamente. Os valores de cálcio extraível para as amostras A1 e A2 diminuíram após a colheita e os valores das A1* e A2* apresentaram valores superiores após a colheita (ver figura 30).

Os teores de magnésio, de acordo com a tabela 7 do Manual de Fertilização das Culturas, valores >125mg.Kg⁻¹ são classificados como muito altos, e os resultados obtidos foram todos superiores a esse valor.

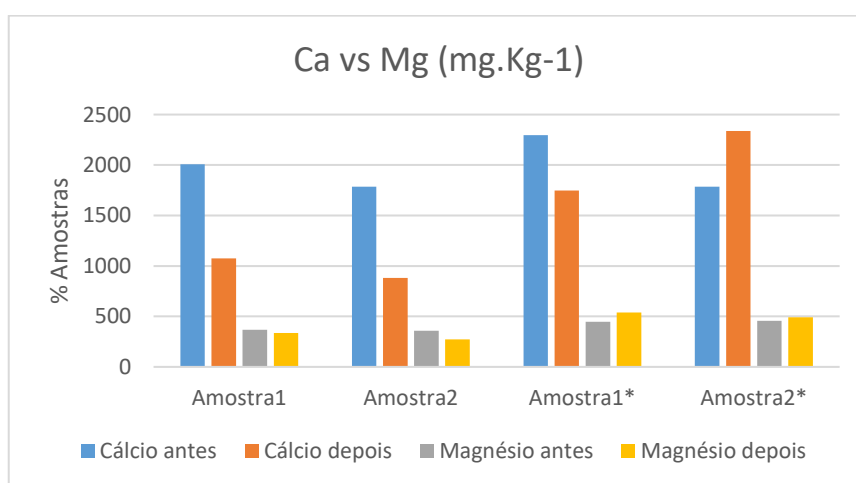


Figura 30: Resultados do cálcio e magnésio no solo antes e depois da instalação das culturas

3.1.2.2. Resultados da análise do solo na Herdade do Reguengo - olival

As parcelas de olival selecionadas correspondem com um Cambissolo – olival 1 – com a particularidade de os materiais de origem calcária serem predominantes; a outra parcela de olival é um Luvisolo – olival 2.

▪ Textura

Todas as três amostras de solo do olival tomadas (duas amostras na parcela olival 1 e uma no olival 2) corresponderam com a classe de textura de campo média.

▪ PH

Os valores do pH (H₂O) obtidos para a amostra olival 1 - 8.5, olival 2 - 7.4 e olival 3 - 8.4. Estas amostras foram classificadas como alcalino, neutro e pouco alcalino, respetivamente (Figura 31). Sendo as amostras olival 1 e 2 procedentes da mesma parcela de olival, possivelmente haverá diferente concentração de elementos da rocha mãe.

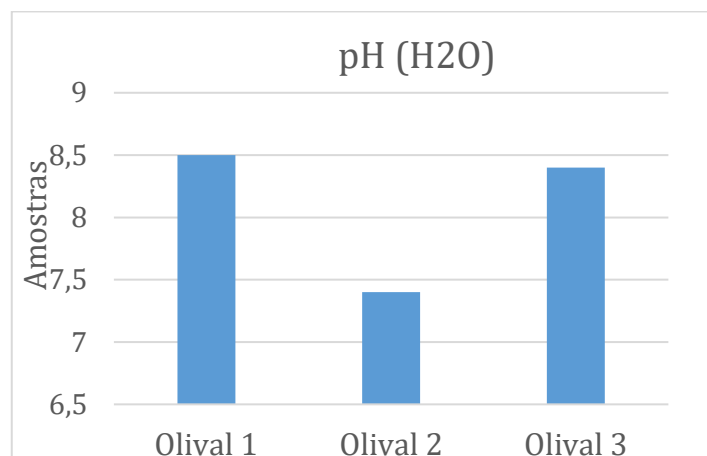


Figura 31: Resultado do pH no solo do olival

▪ Condutividade

Os resultados apurados nas três amostras colhidas nas parcelas do Olival da Herdade do Reguengo foram <0,40 no extrato 1: 2 (solo: água) que correspondem a classificação do solo sem efeitos salinos (Figura 32).

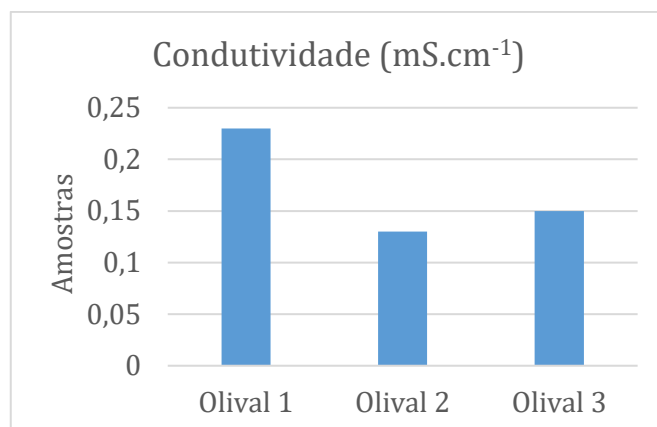


Figura 32: Resultado da condutividade no solo do olival

▪ **Matéria Orgânica**

Os resultados da MO nas amostras do olival da Herdade do Reguengo são: olival 1 - 1.1%; - olival 2 - 0.39%; e olival 3 - 1.3% (Figura 33). De acordo com o Manual de Fertilização das Culturas, a percentagem de MO é classificada como baixa, muito baixa e baixa, respetivamente.

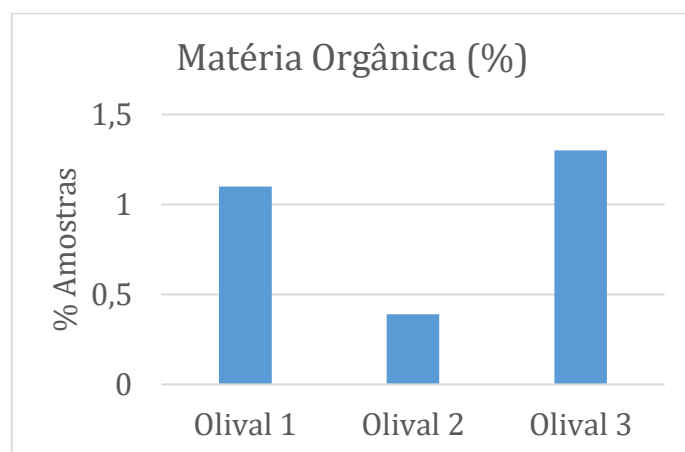


Figura 33: Resultado da matéria orgânica no solo do olival

▪ **Fósforo extraível e Potássio Extraível**

A quantidade de fósforo extraível nas amostras de solo olival 1, olival 2 e olival 3 corresponderam a 50 mg.Kg⁻¹, 35 mg.Kg⁻¹ e >200 mg.Kg⁻¹, classificados como médio,

baixo e muito alto (Figura 34). As quantidades de potássio extraível nas amostras de solo olival 1, olival 2 e olival 3 corresponderam a 86 mg.Kg⁻¹, 68 mg.Kg⁻¹ e 107 mg.Kg⁻¹, classificados como médio, médio e alto.

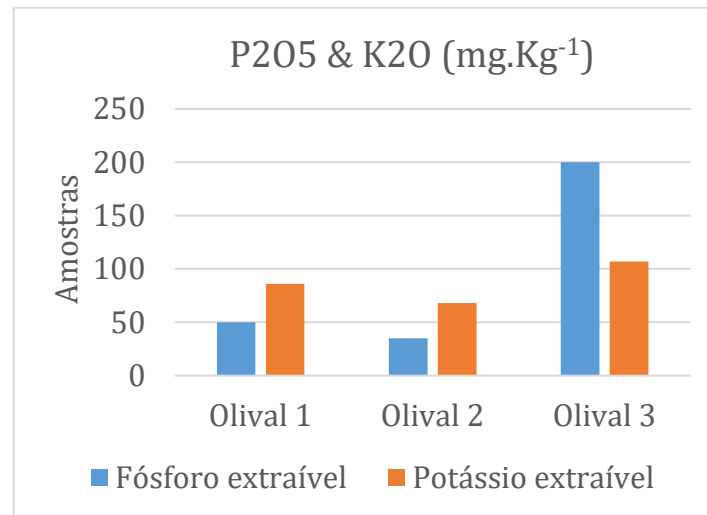


Figura 34: Resultado do fósforo e do potássio no solo do olival

▪ Cálcio Extraível e Magnésio Extraível

A quantidade de cálcio extraível nas amostras de solo, olival 1, olival 2 e olival 3 corresponderam a 4550 mg.Kg⁻¹, 2574 mg.Kg⁻¹ e 3890 mg.Kg⁻¹ respetivamente. E no referente ao magnésio extraível corresponderam a 344 mg.Kg⁻¹, 767 mg.Kg⁻¹ e 262 mg.Kg⁻¹, todos classificados como valores muito altos de magnésio (Figura 35).

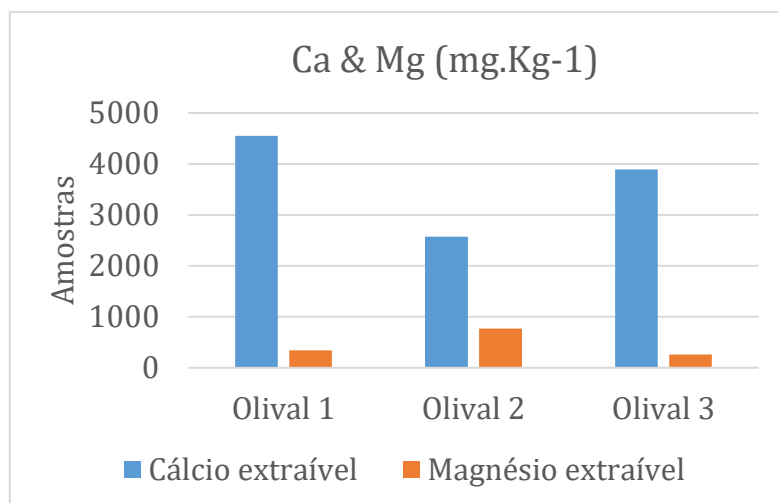


Figura 35: Resultado do cálcio e Magnésio no solo do olival

3.1.3. Caracterização da biomassa recolhida

Previamente à realização do procedimento analítico as biomassas foram pré-trituradas para a sua uniformização. Os resultados são apresentados na Figura 36 e na Tabela 27.

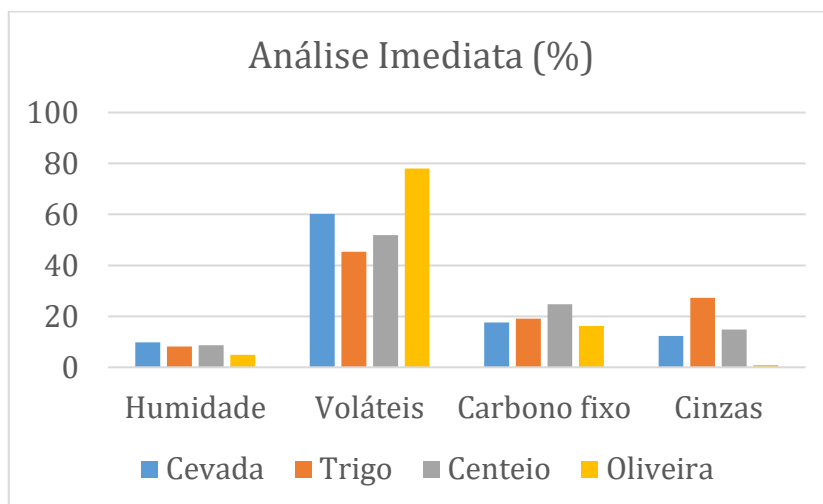


Figura 36: Resultados da análise imediata das biomassas em estudo

Tabela 27: Resultados da caracterização das biomassas selecionadas

Análise	Parâmetro	Cevada	Trigo	Centeio	Oliveira
Imediata (%)	Humidade	9,8	8,19	8,64	4,84
	Voláteis	60,2	45,41	51,85	78,03
	Carbono fixo	17,63	19,11	24,7	16,23
	Cinzas	12,37	27,29	14,81	0,9
Elementar (%)	Azoto	0,62	3,02	1,40	6,41
	Enxofre	0,16	0,00	0,00	< 0,05
	Carbono	42,90	35,96	39,78	47,94
	Hidrogénio	5,70	5,20	5,24	0,62
	Oxigénio	38,25	28,53	38,77	44,98
PCS (MJ/Kg)		15,52	13,62	16,70	17,89

Nos resultados da análise imediata destacam-se:

- O teor de humidade, que é a quantidade de água presente na biomassa, indica da necessidade ou não de um pré-tratamento à biomassa. Nas biomassas selecionadas os restos de poda da oliveira destacaram-se como os resíduos com menos humidade (4,8%), cerca de metade dos restantes materiais.
- O teor de matéria volátil, são os primeiros materiais a serem eliminados depois da água e durante o aquecimento da biomassa, ou seja, são os gases libertados facilmente para que a queima continua a ser alimentada. A maior fonte de voláteis foram os restos de poda da oliveira logo seguidos dos resíduos de biomassa de cevada.
- O teor de carbono fixo que é o material restante após a eliminação dos voláteis da biomassa, é a principal característica do nosso combustível, que queima e

gera energia. Destacou-se os restos de biomassa de centeio e de trigo com a maior proporção.

- O teor de cinzas é o que sobra após a queima do carbono fixo, ou seja, é um material inerte que surge após a queima total da biomassa. Neste caso, a biomassa de poda de oliveira quase que não tiveram cinza, o que é um aspeto positivo uma vez que a cinza pode causar vários problemas nos gaseificadores;

A análise elementar fornece informação sobre a quantidade dos principais elementos químicos na composição biomassa. Esta análise dá-nos informações muito relevantes. Por exemplo, a quantidade de carbono indica-nos o potencial de queima e da reação de combustão, ou seja é responsável pelo poder calorífico dos combustíveis; teor do oxigénio quando for alto tende a diminuir o PCS do combustível; o teor de hidrogénio, apresenta um alto PCS, mas o percentual desse elemento químico nos combustíveis é muito baixo por estar relacionado a humidade da biomassa; a quantidade do azoto e do enxofre presentes na biomassa alertam para o impacto ambiental, indicando se há, ou não, necessidade de um pós-tratamento.

Nas biomassas em análise os resíduos de poda da oliveira apresentaram os teores mais elevados em azoto, em carbono e em oxigénio e os valores mais baixos em hidrogénio (Figura 37). Na análise elementar realizada a biomassa de trigo foi a que apresentou a menor quantidade de elementos químicos.

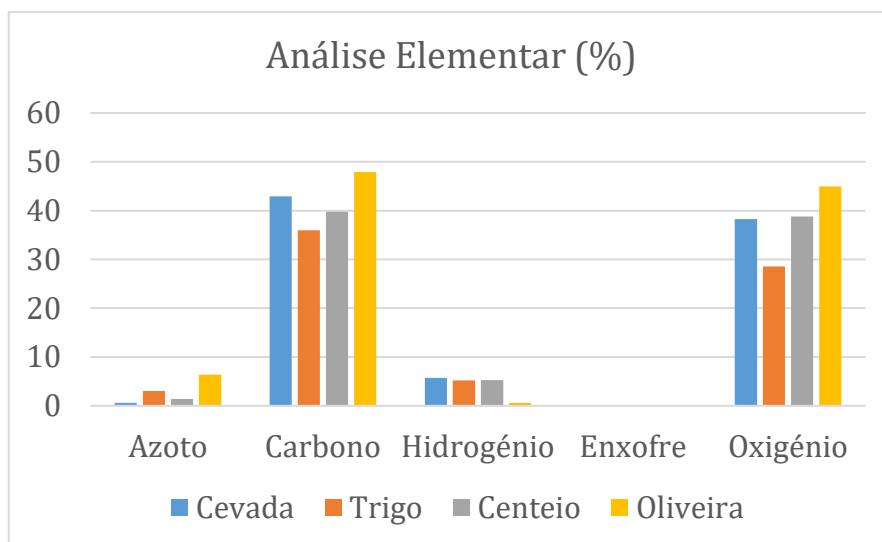


Figura 37: Resultados da análise elementar da biomassa em estudo

Determinou-se também o Poder Calorífico Superior (PCS) nas diferentes biomassas tendo os resíduos de poda da oliveira registado os valores mais elevados (17,89 MJ/kg) e a biomassa de trigo os valores mais baixos (13,62 MJ/Kg) (Tabela 2).

3.2. Discussão

3.2.1. Caracterização do solo/ Produtividade

A produtividade de uma cultura é muito condicionada pelos solos onde as plantas são cultivadas. O crescimento e desenvolvimento das plantas para além de dependerem da luz, água e dióxido de carbono, dependem também do fluxo de nutrientes para as raízes a partir da solução do solo. E o/os nutriente(s) em menor quantidade relativa, vai/vão limitar a produtividade de uma cultura [23].

Nos solos em estudo, a textura de campo indicou a presença de solos com boa capacidade produtiva e consequentemente de elevada produtividade de biomassa. Na Herdade da Comenda (Tabela 18) os resultados da textura de campo evidenciaram texturas média e pesada enquanto na Herdade do Reguengo a textura de campo foi média. A variabilidade encontrada na Herdade da Comenda, justifica-se pela mistura de solos numa única parcela. De acordo com [92], a textura do solo é uma característica intrínseca do solo e não está sujeita a mudanças de classe, podendo ser

somente afetadas quando ocorrer uma mistura com solos de diferentes textura. De acordo com WANG et al. (2005), a textura é um dos principais indicadores da qualidade e da produtividade do solo, uma vez que influencia a mobilização e a dinâmica da água, assim como pela capacidade de retenção de nutrientes e de água [92]. Para alguns outros autores [25], os solos de textura média são considerados mais adequados à produção agrícola, porque tem melhor capacidade de retenção da água e um melhor arejamento e facilidade de mobilização. Um solo de textura pesada, por apresentar normalmente um teor de argila >35% e serem suscetíveis à compactação, podem apresentar dificuldades nas mobilizações, no crescimento das raízes das plantas e nos trabalhos mecanizados [92].

O conhecimento do pH do solo é de extrema importância do ponto de vista agronómico, uma vez que influencia a disponibilidade de nutrientes no solo. A maioria das culturas prefere pH ligeiramente ácido a neutro [23], [25]. As diferenças nos valores de pH na Herdade da Comenda, antes e após a colheita, podem justificar-se, como referem [23], porque: a) a concentração de hidrogénio no solo tende a ser maior no verão e a baixar no inverno; b) a absorção preferencial das plantas por certos iões; c) a atividade dos microrganismos; ou d) com a diluição ou concentração de sais, etc.

A Matéria Orgânica ajuda a estruturar melhor o solo e um solo bem estruturado é capaz de dar maior capacidade para as culturas se desenvolverem e exerce uma forte influência positiva na capacidade produtiva do solo. Como era de esperar na Herdade da Comenda ou na Herdade do Reguengo os valores de MO nos solos analisados foram baixos. Justifica-se porque em Portugal Continental os solos agrícolas são cultivados há muitas décadas. Os teores altos a muito altos de MO são normalmente associados a zonas de altitude, mais frias ou a sistemas culturais intensivos ou com frequentes aplicações de estrumes [23]. As modificações do teor de MO num solo podem ser passíveis de ocorrer no médio prazo sendo que as práticas culturais têm uma grande importância. Um exemplo positivo: em todo o olival da Herdade do Reguengo as mobilizações deixaram ser realizadas e os restos de poda preferencialmente são triturados e deixados sobre o solo.

Quanto ao nível de salinidade do solo, de acordo com [23], quando é muito elevado as plantas tem muita dificuldade para desenvolver. Situação diferente ocorre nas parcelas da Herdade da Comenda e no olival da Herdade do Reguengo que não apresentam problemas para a produtividade das culturas.

Em síntese, todos os parâmetros analisados ao solo de cada parcela corresponderam ao tipo de solo identificado na classificação FAO e na classificação SROA/CNROA/IEADR. De uma forma resumida, para as famílias de solo nas parcelas de culturas anuais – Herdade da Comenda e de olival – Herdade do Reguengo, os resultados analíticos apresentaram valores dentro da normalidade e favoráveis para todas as culturas.

A análise de terra, fornece apenas um índice do nível de nutrientes e só tem significado se for calibrado através de ensaios de resposta da cultura sendo necessário realizar experiências para cada cultura em vários locais e durante pelo menos 3 anos. Os índices nutricionais em macronutrientes das parcelas da Herdade da Comenda e da Herdade do Reguengo, comparando com os valores de referência, não irão condicionar a produtividade das culturas.

A metodologia utilizada para a inventariação da produtividade da biomassa no Alentejo apresentou resultados muito significativos. E utilizando o concelho de Elvas como a parte de um todo (Alentejo) em que se obteve-se cerca de 15237 ton/ano de biomassa agrícola (tabela 24) assumindo também que não há perdas durante o processo de recolha.

Se as quantidades dessa biomassa de resíduos agrícolas fossem aproveitadas para um potencial de produção de elétrica. De acordo com [68], PCI da cultura de sequeiro, olival, vinhas e pomares é de 14 GJ/ton para todos, e para obter um potencial energético é só multiplicar a produtividade de cada biomassa pelo seu respetivo PCI e pelo seu fator de rendimento de conversão do recurso em energia elétrica. E para converter o resultado obtido em GJ/ano é multiplicá-lo por 0.278 que é o fator de conversão da unidade de energia (GJ em MWh). E considerando que toda a biomassa produzida é convertida em energia, obtém-se desde modo um total de 14825 MWh/ano, e de acordo com os dados da INE (2020) o total da energia elétrica consumida no concelho de Elvas corresponde a 72924.55 MWh/ano, o que significa

que o potencial energético da biomassa agrícola recolhida neste concelho corresponde a aproximadamente 20% da energia total consumida.

De acordo com os dados do INE, [93], no ano de 2020 em relação as superfícies das principais culturas agrícolas (ha) no Alentejo, obteve-se que cerca de 117 739ha de espécies de cereais para grão, 34 284 ha de espécie de vinha e 209 209 ha de espécies da olival. Que comparando ao valor da área obtida através da COS, acredita-se que tenha muita semelhança, por exemplo pegando na espécie da vinha e somando todos os valores das áreas dos três distritos obtemos um total de 20 502.82 ha. E comparando esse valor total com o valor da área da vinha segundo os dados do INE, [93] que é cerca de 34 225 ha o que era de se esperar, uma vez que, pela COS como referido no capítulo 2, na caracterização da área de estudo que por disponibilidade de dados (imagens satélite), em que o distrito de Portalegre dispõe de apenas 9 concelhos, o distrito de Évora dispõe de 12 concelhos e o distrito de Beja também dispõe de 12 concelhos.

Faltando assim 10 concelhos entre os distritos de Portalegre, Évora e Beja, mais os 11 concelhos da lezíria do tejo. Fazendo a mesma comparação em relação da espécie do olival pela COS obtemos um total de 150 818.55 ha e segundos os dados de INE, [93], a área da superfície das principais culturas agrícolas da espécie do olival corresponde a cerca de 208 946 ha. A justificação do porquê de o valor do COS ser um pouco abaixo dos dados do INE, é pelo mesmo motivo explicado anteriormente.

Comparando os resultados encontrados com os resultados da área efetiva de produção e produtividade da biomassa agrícola obtidos pelo (Lourinho, 2012) [68], obteve-se valores diferentes de áreas efetivas de produção para os mesmos concelhos (Castelo de Vide, Marvão, Monforte e Portalegre), assim como também se obteve valores diferentes de produtividade para os mesmos concelhos. Apenas o concelho de Portalegre assemelha o valor obtido de produtividade da biomassa agrícola, de um modo geral obteve-se valor de produtividade da biomassa agrícola superior ao valor obtido pelo autor [68], o que pode se justificar pelo fato do autor ter utilizado uma metodologia diferente e também ter utilizado a COS versão 2007 que é uma versão já desatualizada que de acordo [58] a versão utilizada neste trabalho, a COS2018 não pode ser comparada com as versões anteriores.

Segundo os dados do INFOSOLO [94] (anexo 7), o solos do Alentejo são solos com pH maioritariamente pouco ácidos (5.6 – 6.5) pobres em matéria orgânica maioritariamente na faixa de (0.31 – 0.9) e (0.91 – 1.7), valores esses que assemelham com os resultados obtidos. E comparando a produtividade da biomassa dos três distritos, no distrito de Portalegre, Elvas apresentou-se como o concelho com maior quantidade de biomassa produzida por ano e das áreas estudadas, a cultura do olival é a que apresentou maior produção de biomassa seca por ano. E por sua vez comparando com os dados do INFOSOLOS boa parte do concelho de Elvas apresenta um pH na faixa de 6.6-7.5 que é considerado um pH ótimo para a maioria das culturas. No distrito de Évora, o concelho de Évora é o concelho que apresentou com maior quantidade de biomassa seca produzida por ano e as culturas de sequeiro/regadio se apresentaram como culturas com maior quantidade de biomassa seca por ano. O distrito de Beja o concelho de Moura apresentou maior quantidade de biomassa produzida por ano e a cultura do olival apresentou como a cultura com maior produção de biomassa seca por ano.

E considerando que o aproveitamento energético é feito através da tecnologia da gaseificação recorreu-se a uma caracterização da biomassa com o objetivo de saber qual o impacto das biomassas analisadas na tecnologia da gaseificação.

3.2.2. Caracterização da biomassa

3.2.2.1. Análise Imediata

O teor de humidade é um fator muito importante na caracterização dos combustíveis. Uma vez que, quanto maior o nível de humidade de uma determinada matéria-prima, maior pode ser condicionamento do rendimento energético do processo, assim como a temperatura de combustão, um maior volume da caldeira será necessário, resultando assim numa caldeira mais expansiva, maior tempo de residência e o volume do gás de combustão produzido por unidade de energia [95], [96].

Os teores de humidade das biomassas de cevada, trigo, centeio e oliveira formam 9.8%, 8.19%, 8.64% e 4.84% respetivamente, que são considerados valores baixos de humidade na matéria-prima, porque segundo Yao *et al.*, 2005 na análise imediata

espera-se que o valor da humidade pode variar numa percentagem baixa, abaixo de 10% para a biomassa pré-seca ou até 50% em culturas frescas [97]. Para as reações termoquímicas como a combustão e a gaseificação o teor de humidade não dever ser superior a 25% [36].

Logo nesse caso as biomassas utilizadas são consideradas aplicáveis para reações termoquímicas como a combustão e a gaseificação, uma vez que quanto maior o teor da humidade menor o valor do aquecimento resultando assim em menor eficiência do combustível [96]. Deste modo não é necessário nenhum pré-tratamento para remoção da humidade.

O teor de MV representa a facilidade da queima da biomassa e o seu teor tem um impacto direto no teor de alcatrão dos gases em que, quanto maior o teor de MV, maior será o teor de alcatrão nos gases dentro do reator. De acordo com os resultados obtidos o olival e a cevada apresentam o maior conteúdo volátil, com cerca de 78.3% e 60.2% respetivamente. E o trigo e o centeio apresentaram menor conteúdo volátil, com cerca de 45.41% e 51.81% respetivamente. Segundo a literatura [97], o resíduo da poda do olival, palha de cevada, palha de centeio e palha de trigo apresentam um teor de MV de cerca de 78% o que se assemelha como o valor obtido. Embora na mesma literatura obteve-se valores diferentes, com 77.9% para palha de cevada, 79.9% para palha de centeio e 76% para palha de trigo. E de acordo com [98], o MV para a palha de trigo é cerca de 82.12%.

Segundo Yao *et al.*, 2005 [97], os valores de médios de MV para biomassa em geral é de 65% a 85% e segundo Telmo *et al.*, 2010 [97], a biomassa lenhocelulósica é de 76% e 86%. Logo de acordo com os resultados obtidos, a biomassa da poda do olival é a única que se enquadra dentro do esperado em termos da matéria volátil de acordo com a literatura apresentada e consequentemente é a biomassa que pode apresentar maior teor de alcatrão nos gases dentro do reator. De acordo com [99], existem muitas propostas para remover o alcatrão dos gases, mas, que há duas formas mais utilizadas, que é através do método primário considerado seleção do tipo de reator e condições operacionais do processo de gaseificação e o outro método é através do processo secundário como, ciclones, adsorventes, filtros, leitos de adsorção, torres de lavagem, precipitador eletrostático e remoção catalítica.

O valor do carbono fixo da biomassa lenhocelulósica situa-se geralmente entre 7% a 20% de acordo com Yao *et al.*, 2005 [97]. O valor do carbono fixo obtido de todas as biomassas em estudo situa-se neste intervalo, com exceção da palha do centeio que apresenta valor superior ao intervalo indicado com um valor de 24.7%, o que favorece as características combustíveis desta matéria-prima. Uma vez que, altos valores de CF favorece os processos termoquímicos com a gaseificação, pois quanto maior o teor do CF maior é a densidade da energia do combustível o que implica numa alta eficiência da gaseificador.

Na análise de biomassa da palha da cevada obteve-se um teor de cinzas de 12.37%, para a biomassa de palha de centeio um teor de 14.81%, para a biomassa da palha de trigo um teor de 27.29% e 0.9% para a biomassa de poda de oliveira. De acordo com Yao *et al.*, 2005 na literatura [97], os valores gerais de cinzas esperados situam-se numa faixa do intervalo de 5% a 20% e nenhum dos valores do teor de cinza assemelham-se com os valores da literatura[97].

Na biomassa agrícola o teor de cinzas variam até 15% e comparando com os resultados alcançados apenas a biomassa da palha de trigo apresenta um valor de 27.29%, valor superior ao esperado numa biomassa de resíduo agrícola [36]. Altos teores de cinzas reduzem significativamente a produção de energia derivada de uma fonte de biomassa específica, além disso pode surgir problemas devido a sua possível fusão e acumulação. A fusão da cinza depende da temperatura da sua composição e por sua vez pode causar formação de escória que pode causar entupimento de grelhas no reator [100], [36]. No caso de combustíveis com alto teor de cinzas o tipo de gaseificador recomendado é o com fluxo descendente de gás produto e de matéria-prima (*downdraft*) uma vez que a sua remoção é constante.

3.2.2.2. Análise Elementar

O carbono elementar é o principal elemento em todo o material do combustível, é responsável pelo PCS dos combustíveis. O teor de carbono encontrado nas biomassas em estudo foi de, 42.90% para a palha da cevada, 35.96% para a palha do trigo, 39.78% para a palha do centeio e 47.94% para poda do olival. E de acordo com Telmo

et al., 2010 [97] na análise elementar o teor do carbono deve ter valores entre 47% e 54%, o que mostra que apenas a biomassa da poda do olival se enquadra nesse intervalo.

O teor de hidrogénio nas biomassas em estudo variou entre 5.70% para a palha da cevada, 5.20% para a palha do trigo, 5.24% para a palha do centeio e 0,62% para a poda do olival. Estes valores se enquadram no intervalo estipulado por Telmo *et al.*, 2010, [97], que diz que para os combustíveis lignocelulósicos os teores de hidrogénio situam-se entre 5.6% a 7%, exceto a poda do olival que obteve-se um valor bem abaixo desse intervalo, 0.62%. O teor de hidrogénio dos combustíveis estudados é baixo.

O teor do oxigénio elementar tem uma influência significativa no PCS, uma vez que não contribui para a produção de energia durante o processo de combustão e gaseificação, por isso em alguns casos é importante [101]. De acordo com Telmo *et al.*, 2010, o teor de oxigénio varia entre 40% a 44% [97]. E o único valor do oxigénio encontrado na biomassa em estudo e que se enquadra nesse intervalo é o da biomassa da poda do olival com um valor de 44.98% e as biomassas da palha da cevada e palha do centeio obteve-se um valor aproximado a esse intervalo, com 38.25% e 38.77% respetivamente. Apenas a biomassa da palha do trigo que se obteve um valor bem abaixo do esperado, 28.53%.

O teor de azoto elementar na biomassa da palha da cevada, trigo, centeio e poda do olival são respetivamente, 0.62%, 3.02%, 1.40% e 6.41%, que são valores um pouco superiores ao esperado de acordo com Telmo *et al.*, 2010 que diz que o teor do azoto de variar entre 0.1% a 0.5%. O que indica uma necessidade de um pós-tratamento após a queima desses combustíveis, o azoto tem um impacto ambiental elevado, uma vez que libertado ao ambiente pode ter formação de NO_x que são os óxidos nitrosos que atacam diretamente a respiração. O NO_x por si só não é poluente, mas lançado na atmosfera ele reage com o oxigénio do ar produzindo o gás ozónio (O₃) e o ácido nítrico (HNO₃). O O₃ que apesar de ser desejável a elevadas altitudes, ele pode reduzir a intensidade de energia infravermelha solar na superfície da terra, que é indesejável por influenciar negativamente temperatura superficial, além disso o O₃ pode formar uma névoa castanha que pode ser prejudicial a saúde humana causando irritação nos

olhos, infecções das vias respiratórias e até destruição dos cílios das vias respiratórias. E o HNO_3 provoca formação de chuva ácida quando é libertado para a atmosfera, causando corrosão e destruição do material [36].

O teor do enxofre obtido foi de 0.16% para a palha da cevada, nulo para a palha de trigo e a palha do centeio e <0.05% para a poda do olival, esses valores se enquadram no intervalo estipulado por Telmo et al., 2010 em que diz que o valor esperado pelo enxofre no combustível se situa próximo de 0.1%. Embora no caso de biomassas de origem vegetal, os teores de enxofre são muito pequenos, podendo ser até descartados [36]. Logo essas biomassas não representam risco ao ambiente após a sua queima, ou seja, indica que não há uma necessidade de um tratamento pós-queima.

Assim como o azoto a ausência do enxofre também é desejável durante a conversão de energia uma vez que diminui a formação do SO_2 uma vez que este pode reagir com H_2O formando H_2SO_4 , que pode levar a taxas de corrosão elevadas das superfícies metálicas no interior do equipamento da combustão e libertado na atmosfera os compostos resultantes da sua oxidação com oxigénio e da sua reação com água, principalmente o H_2SO_4 são extremamente nocivos, podendo provocar a lixiviação ou o empobrecimento do solo e corrosão em equipamento e edifícios [36].

▪ Poder Calorífico

O poder calorífico representa a quantidade de energia produzida com a queima da biomassa, os valores mais altos do PCS estão entre 20.2 a 20.5 MJ/Kg. E segundo Kçuk e Dermirbas, 1997, a biomassa apresenta alta reatividade quando comparada ao carvão, devido ao seu conteúdo altamente volátil e maior teor de carvão reativo, mas níveis baixos de C e H implicam um PCS baixo. O maior valor obtido do PCS é da biomassa da poda do olival no valor de 17.89 MJ/Kg um valor um pouco abaixo do esperado de acordo com (Telmo *et al.*, 2010) mas semelhante a dos valores encontrados na literatura [97] no valor de 17.34MJ/Kg.

Tendo em conta os resultados da caracterização da biomassa, a biomassa que apresenta ser a melhor para a sua utilização em processos da gaseificação é a

biomassa da poda do olival, uma vez que é a biomassa com maior valor do poder calorífico, e menor teor de humidade.

CONCLUSÃO

Este trabalho apresenta uma avaliação do potencial produtivo da biomassa de resíduos agrícolas no Alentejo em função do solo, através de uma metodologia de inventariação da biomassa e da caracterização do solo e da biomassa. O trabalho permitiu igualmente avaliar o impacto dos parâmetros do solo na produtividade da biomassa, ter uma estimativa da biomassa produzida e saber as características das biomassas para um possível aproveitamento energético baseando na tecnologia da gaseificação.

As principais conclusões do trabalho tendo em conta os objetivos tracejados inicialmente são:

- O tipo de solo avaliado foi identificado de acordo com a classificação da FAO e da SROA/CNROA/IEADR, todos os parâmetros do solo avaliado correspondem com a descrição da classificação da FAO e SROA/CNROA/IEADR. Os resultados das análises apresentam valores dentro da normalidade e considerados favoráveis para todas as culturas e relativamente aos valores dos índices nutricionais em macronutrientes das parcelas da Herdade da Comenda e da Herdade de Reguengo, comparando com os valores de referência não condicionam a produtividade das culturas;
- A metodologia apresentada, mostrou-se adequada para a inventariação da biomassa, apresentado resultados muito interessantes em termos da produtividade da biomassa e na sua comparação com os parâmetros do solo. O distrito que se obteve maior produtividade é o Beja com uma produtividade de 160164 ton secas/ano de resíduos e que de acordo com os dados do INFOSOLOS boa parte dos solos desse distrito corresponde a um pH ótimo para a maioria das culturas, sendo este um fator muito importante na absorção de nutrientes e automaticamente influência na produtividade da biomassa. Utilizando a metodologia de estimativa da produtividade de biomassa de resíduos agrícolas, obteve-se um total de 15237 ton secas/ano de resíduos de biomassa agrícola no concelho de Elvas, sendo essa quantidade capaz de gerar

14825 MWh/ano correspondendo a 20% da energia total consumida no concelho;

- Quanto a caracterização da biomassa obteve-se um baixo teor de humidade em todas as biomassas analisadas, o que indica que não há necessidade dessas biomassas serem submetido a um pré-tratamento de secagem como meio para melhorar essa característica. As biomassas da palha de trigo, cevada e centeio apresentam um baixo conteúdo carbónico e um baixo potencial energético, apenas a biomassa da poda de oliveira apresentou um conteúdo carbónico dentro da faixa esperada e um potencial energético considerável. E devido ao teor de MV e teor de cinzas presentes nas biomassas pode se concluir que a poda do olival foi o apresentou maior valor de MV fazendo que com que essa biomassa de acordo com a literatura pode apresentar maior teor de alcatrão e em relação ao teor de cinzas. A palha de trigo é que apresenta este parâmetro em maior quantidade o que faz com que seja recomendado utilizar um gaseificador *downdraft* para a conversão de energia ao utilizar a biomassa de palha de trigo como combustível.

Embora obteve um baixo teor de enxofre em todas as biomassas analisadas, elas podem apresentar risco ao ambiente devido ao teor de azoto encontrado, o que significa que há necessidade de um tratamento pós-queima.

De uma forma geral os resultados obtidos tendem pela positiva, concordando com os autores que afirmam que há um grande potencial de produção de resíduos no Alentejo. A biomassa da poda do olival destacou-se como a biomassa obtida em maior quantidade, com um conteúdo energético considerável e é uma biomassa derivada de uma cultura que produzida em grande quantidade e se adapta a vários tipos de solo de acordo com algumas literaturas, tem maior poder calorífico e menor teor de humidade. As características do solo apresentam ótimas condições a nível textura e de nutrientes para as culturas, obtendo assim biomassa com características que permitem um possível aproveitamento energético, como a produção de biocombustíveis gasosos usados em motores *duo fuel*.

A realização do presente trabalho também teve suas limitações que foram essencialmente as informações cartográficas, que por indisponibilidade de imagens

satélite não se conseguiu ter acesso a todos os concelhos dos três distritos, o que permitiria uma maior representatividade dos resultados e as informações dos dados das culturas disponíveis no site da INE, em que apenas se encontra disponível valores de produção de culturas agrícolas para cada distrito e não apresenta valores para cada concelho. Fatores esses que acabam por dificultar durante uma comparação dos resultados obtidos.

E como proposta para os trabalhos futuros sugere-se que abordem a questão do potencial produtivo da biomassa em função do solo, e que tenham por base de trabalho culturas agrícolas:

- Avaliar o potencial produtivo de biomassa agrícola para diferentes anos (pelo menos 3 anos) e comparar a variação dos nutrientes no solo dos respetivos anos, com uma avaliação dos vegetais (culturas) em diferentes locais com o objetivo de calcular o índice de nível de nutrientes no solo;
- Caracterização do solo de culturas agrícolas para os outros concelhos dos distritos do Alentejo;
- Realização de testes experimentais de gaseificação com as biomassas estudadas no projeto, de forma a avaliar o potencial de produção de energia e validar as conclusões que se alcançaram no trabalho;

E por último, pelo fato de obter-se nos resultados baixo teor de MO e uma vez que este é uma fonte de nutrientes essenciais ao crescimento e produção das culturas nos solos analisados sugere-se algumas medidas para o aumento do teor MO no solo, como:

- Rotacionar as culturas, alternando entre leguminosas e gramíneas ou até mesmo utilizar uma mistura de culturas para a cobertura do solo, manter o solo coberto é fundamental, determinando quais plantas utilizar e quando utilizar;
- Optar pela sementeira direta, garantindo a cobertura e proteção do solo contra a erosão;

É importante destacar que o aumento do teor da MO no solo requer um plano, tempo, esforço e pode demorar anos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] R. A. Hinrichs and M. Kleinbach, “Energia e Meio Ambiente,” *J. Chem. Inf. Model.*, vol. 53, no. 9, pp. 1689–1699, 2019.
- [2] UNEP, “Climate Change Graphics,” no. February, p. 24, 2005, [Online]. Available: <http://www.grida.no/>.
- [3] P. Bajpai, “Advantages and disadvantages of biomass utilization,” *Biomass to Energy Convers. Technol.*, pp. 169–173, 2020, doi: 10.1016/b978-0-12-818400-4.00007-4.
- [4] L. do R. I. V. C. Pia Bucella, Catherine Geslain-Laneelle, Francisco Avelaz e Mário de Carvalho, Francisco Ónega López, José Luis Moreira da Silva e Alexandre Roque. GPP: Helena Sequeira, Maria da Luz Serra Mendes, Patricia Gama, Rui Pereira, Rui Trindade DGADR: José Hort, “CULTIVAR Caderno de Análise e Prospetiva,” vol. 2, p. 130, 2015.
- [5] Universidade Federal do Paraná and Departamento de Solos e Engenharia Agrícola, *O Solo No Meio Ambiente* :, 1ª. Curitiba, 2007, p. 141.
- [6] J. Boyer, *Definição dos solos e descrição do perfil*. Salvador Bahia, 1971.
- [7] A. Balasubramanian, “By Prof. A. Balasubramanian Centre for Advanced Studies in Earth Science, University of Mysore, Mysore,” no. February, 2017.
- [8] F. M. Vezzani and J. Mielniczuk, “Uma visão sobre qualidade do solo,” *Rev. Bras. Ciência do Solo*, vol. 33, no. 4, pp. 743–755, 2009, doi: 10.1590/s0100-06832009000400001.
- [9] A. E. Hartemink, Y. Zhang, J. G. Bockheim, N. Curi, and S. H. G. Silva, *Soil horizon variation : A review*, 1st ed. Elsevier Inc., 2019.
- [10] P. L. de L. Pequeno, *NOÇÕES BÁSICAS DE USO E MANEJO DE SOLO*, 1º. Porto Velho- RO, 2013.
- [11] R. R. Nunes and M. O. de Oliveira Rezende, *Ramom Rachide Nunes Maria Olímpia de Oliveira Rezende*, no. January. 2015.
- [12] “MundoEcologia,” 2020. <https://www.mundoecologia.com.br/natureza/o-que->

e-horizonte-vertico-como-ele-acontece/ (accessed Jan. 21, 2023).

- [13] T. B. P. John W. Doran, "Defining and Assessing Soil Quality," B. A. S. W. Doran, D.C. Coleman, D.F. Bezdicek, Ed. 1994.
- [14] J. Hyun, Y. J. Kim, A. Kim, A. F. Plante, and G. Yoo, "Ecosystem services-based soil quality index tailored to the metropolitan environment for soil assessment and management," *Sci. Total Environ.*, p. 10, 2022, doi: 10.1016/j.scitotenv.2022.153301.
- [15] J. Hyun, Y. J. Kim, A. Kim, A. F. Plante, and G. Yoo, "Ecosystem services-based soil quality index tailored to the metropolitan environment for soil assessment and management," *Sci. Total Environ.*, vol. 820, p. 153301, 2022, doi: 10.1016/j.scitotenv.2022.153301.
- [16] C. Milene *et al.*, "Indicadores biológicos da qualidade solo em sistema," pp. 105–112, 2009.
- [17] M. K. Shukla, R. Lal, and M. Ebinger, "SOIL QUALITY INDICATORS FOR RECLAIMED MINESOILS," vol. 169, no. 2, 2004, doi: 10.1097/01.ss.0000117785.98510.0f.
- [18] J. V. B. da Costa, *CARACTERIZAÇÃO E CONSTITUIÇÃO DO SOLO*, 7ª. Av. de Bernal Lisboa, 2004.
- [19] CONHECER, "Do estudo do solo à primeira cartografia Saiba Mais," 2020. <https://florestas.pt/conhecer/o-estudo-do-solo-a-pedologia-e-as-cartas-de-solo-em-portuga/>.
- [20] Comissão Europeia, "Proteção do solo - Uma nova política para a UE," 2007.
- [21] CONHECER, "Os solos em Portugal: conhecer para beneficiar," 2020. <https://florestas.pt/conhecer/os-solos-em-portugal-conhecer-para-beneficiar/>.
- [22] J. F. C. Barros, "Fertilidade do solo e Nutrição das plantas," Évora, 2020.
- [23] INIAP - Laboratório Químico Agrícola Rebelo da Silva, *Manual de fertilização das culturas*. 2005.
- [24] C. M. C. LOZADA, "ÍNDICE DE QUALIDADE DO SOLO PARA A AVALIAÇÃO DO

IMPACTO DE DIFERENTES USOS E MANEJOS E SUA APLICAÇÃO EM UMA ÁREA RURAL DE PLANALTINA (DF),” UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA, 2015.

- [25] A. de Varennes, *Produtividade dos Solos e Ambiente*. 2003.
- [26] H. D. S. Fagundes, M. G. Pereira, Y. Vidal, and D. F. Gomes, “Indicadores de qualidade do solo em áreas agrícolas na região serrana do Estado do Rio de Janeiro,” doi: doi10.37885/200700657.
- [27] M. Madeira, “A Base de Referência para os Solos do Mundo e a Classificação dos Solos de A Base de Referência para os Solos do Mundo e a Classificação dos Solos de Portugal The World Reference Base for Soil Resources and the Classification of the Soils of Portugal,” no. June 2014, 2004.
- [28] P. e A. G. GPP (Gabinete de Planeamento, *CULTIVAR*, Princípia. 2015.
- [29] P. Coelho and M. Costa, *Combustão*, 1ª Edição. 2007.
- [30] D. C. Dayton and T. D. Foust, “Biomass Characterization,” *Anal. Methods Biomass Charact. Convers.*, pp. 19–35, 2020, doi: 10.1016/b978-0-12-815605-6.00002-0.
- [31] P. Basu, *Biomass Characteristics*, First Edit. © 2010 Elsevier Inc., 2010.
- [32] P. Basu, *Biomass characteristics*. 2018.
- [33] Greenpro, *Bioenergia - Tecnologias, projecto e instalação*. 2004.
- [34] Cristina Cunha Queda; Christian Staiss; Instituto Superior de Agronomia; Associação para o Desenvolvimento do ISA; Centro de Estudos Florestais, *Biomassa e Bioenergia - Economia, Mercados e Oportunidades*. 2001.
- [35] A. Tursi, “A review on biomass: Importance, chemistry, classification, and conversion,” *Biofuel Res. J.*, vol. 6, no. 2, pp. 962–979, 2019, doi: 10.18331/BRJ2019.6.2.3.
- [36] G. Rendeiro *et al.*, *Combustão e Gasificação de Biomassa Sólida: Soluções Energéticas para a Amazônia*. 2008.
- [37] P. Mckendry, “Energy production from biomass (part 1): overview of biomass,” *Bioresour. Technol.*, no. June 2002, pp. 37–46, 2002, doi: 10.1016/S0960-8524(01)00118-3.

- [38] L. S. Alda Maria Brás, Fernando Miranda, Luísa Hipólito, “Biomassa e produção de energia,” *Terra*, pp. 23–30, 2012, [Online]. Available: <http://portal.ipv.pt/images/ipv/esa/pdf/biomassa.pdf>.
- [39] R. A. Viegas, F. De Tarso, and R. Caselli, “Pirólise da biomassa lignocelulósica: uma revisão pyrolysis of lignocellulose biomass: a review,” vol. 5, pp. 2511–2525, 2015.
- [40] G. Reactionsteps, *Gasification Theory*. 2018.
- [41] M. Antar, D. Lyu, M. Nazari, A. Shah, X. Zhou, and D. L. Smith, “Biomass for a sustainable bioeconomy: An overview of world biomass production and utilization,” *Elsevier*, 2021, doi: 10.1016/j.rser.2020.110691.
- [42] C. O. F. Gasification, “Fundamental Concepts in Biomass Gasification,” 2016, pp. 4–10.
- [43] Oliveira; Yolanda Vieira de Abreu; Marco Aurélio Gonçalves de; Sinclair Mallet-Guy Guerra; *Energia Sociedade Meio Ambiente*. Espanha: <http://www.eumed.net/libros/2010c/723/index.htm>, 2010.
- [44] R. V. Andrade, “Gaseificação de Biomassa : Uma Análise Teórica e Experimental,” UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ, 2007.
- [45] Pedro Miguel Cerqueira Correia, “Desenvolvimento de motor de combustível Dual,” Universidade do Minho, 2011.
- [46] F. Y. Hagos, A. R. A. Aziz, and S. A. Sulaiman, “Trends of syngas as a fuel in internal combustion engines,” *Adv. Mech. Eng.*, 2014, doi: 10.1155/2014/401587.
- [47] J. D. MARTINEZ, R. V. ANDRADE, and E. E. S. LORA, “Gasificação De Biomassa Em Leito Fixo Tipo Concorrente, Aspectos Teoricos E Experimentais,” *Proc. 7th Encontro Energ. no Meio Rural*, no. February 2015, pp. 1–10, 2008, [Online]. Available: <http://scholar.google.com/scholar?hl=en&btnG=Search&q=intitle:GASIFICAÇÃO+DE+BIOMASSA+EM+LEITO+FIXO+TIPO+CONCORRENTE+,+ASPECTOS+TEORICOS+E+EXPERIMENTAIS#0>.

- [48] P. McKendry, "Energy production from biomass (part 2): Conversion technologies," *Bioresour. Technol.*, vol. 83, no. 1, pp. 47–54, 2002, doi: 10.1016/S0960-8524(01)00119-5.
- [49] N. Afonso, S. Ferreira, and E. Monteiro, "Bioenergy overview for Portugal," *ScienceDirect*, vol. 33, pp. 1567–1576, 2009, doi: 10.1016/j.biombioe.2009.07.020.
- [50] S. Silveira, "How to Realize the Bioenergy Prospects?," in *Bioenergy - Realizing the Potential*, Elsevier Ltd, 2005, pp. 3–17.
- [51] P. e A. G. GPP - Gabinete de Planeamento and INIAV - Instituto Nacional de Investigação Agrária e Veterinária, "Linhas Estratégicas Dos Sectores De Produção Primária No Contexto Do Desenvolvimento Da Estratégia Nacional Para a Bioeconomia Sustentável 2030," *Bioeconomia 2030*, pp. 1–56, 2021.
- [52] S. Caeiro, "Sistemas de Informação Geográfica/LCA 1 Sandra Caeiro, 2013," pp. 1–41, 2013.
- [53] R. T. Cristina Lira , Alexandra Amorim , Ana Nobre Silva, *Sistemas de informação geográfica: Análise de Dados de Satélite*, DGRM-Dir. Lisboa, 2016.
- [54] T. G. Florenzano, "Imagens de Satélite para Estudos Ambientais Sensoriamento Remoto," 2002.
- [55] A. S. Ferraz *et al.*, "Estimativa do estoque de biomassa em um fragmento florestal usando imagens orbitais," *Floresta e Ambient.*, vol. 21, no. 3, pp. 286–296, 2014, doi: 10.4322/loram.2014.029.
- [56] A. Siteo and F. Tchaúque, "Medição de Biomassa Florestal Utilizando Informação do Inventário Florestal," no. March 2007, p. 52, 2007.
- [57] Direção-Geral do Território, "Carta de Uso e Ocupação do Solo - 2018," 2019. <https://dados.gov.pt/pt/datasets/carta-de-uso-e-ocupacao-do-solo-2018/> (accessed Nov. 04, 2021).
- [58] Direção-Geral do Território, "Especificações Técnicas da Carta de Uso e Ocupação do Solo (COS) de Portugal Continental para 2018," 2019.
- [59] R. Gustavo, V. Camacho, and S. Remoto, "Aplicação do NDVI para a Análise da

- Distribuição Espacial da Cobertura Vegetal na Região Serrana de Martins e Portalegre – Estado do Rio Grande do Norte Use of NDVI for Analysis of the Spatial Distribution in the Vegetative Cover of the Mountainous Region,” vol. 33, 2017, doi: 10.11606/rdg.v33i0.128171.
- [60] Q. Xie *et al.*, “Vegetation Indices Combining the Red and Red-Edge Spectral Information for Leaf Area Index Retrieval,” pp. 1–12, 2018.
- [61] L. Qiao *et al.*, “UAV-based chlorophyll content estimation by evaluating vegetation index responses under different crop coverages,” Elsevier B.V., p. 12, 2022.
- [62] M. A. Wulder, J. C. White, R. A. Fournier, J. E. Luther, and S. Magnussen, “Spatially explicit large area biomass estimation: Three approaches using forest inventory and remotely sensed imagery in a GIS,” *Sensors*, vol. 8, no. 1, pp. 529–560, 2008, doi: 10.3390/s8010529.
- [63] P. Silveira, H. S. Koehler, C. R. Sanquetta, and J. E. Arce, “O Estado Da Arte Na Estimativa De Biomassa E Carbono Em Formações Florestais,” *Floresta*, vol. 38, no. 1, pp. 185–206, 2008, doi: 10.5380/rf.v38i1.11038.
- [64] M. R. Tito, M. C. León, and R. Porro, *Guia para determinação de carbono em pequenas propriedades rurais*. 2009.
- [65] Z. Somogyi, E. Cienciala, R. Mäkipää, P. Muukkonen, A. Lehtonen, and P. Weiss, “Indirect methods of large-scale forest biomass estimation,” *Eur. J. For. Res.*, vol. 126, no. 2, pp. 197–207, 2007, doi: 10.1007/s10342-006-0125-7.
- [66] A. Angelis-Dimakis *et al.*, “Methods and tools to evaluate the availability of renewable energy sources,” *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 15, no. 2, pp. 1182–1200, 2011, doi: 10.1016/j.rser.2010.09.049.
- [67] S. C. Bhattacharya *et al.*, “An assessment of the potential for non-plantation biomass resources in selected Asian countries for 2010,” vol. 29, no. 2005, pp. 153–166, 2010, doi: 10.1016/j.biombioe.2005.03.004.
- [68] G. Lourinho, “Avaliação do Potencial Energético em Biomassa do Alto Alentejo Departamento de Tecnologia e Design,” p. 87, 2012.

- [69] U. Fernandes and M. Costa, "Potential of biomass residues for energy production and utilization in a region of Portugal," *Biomass and Bioenergy*, vol. 34, no. 5, pp. 661–666, 2010, doi: 10.1016/j.biombioe.2010.01.009.
- [70] F. Rosa and A. Vieira, "Avaliação do potencial energético da biomassa na região autónoma da Madeira.," p. 87, 2005.
- [71] N. Bilandzija, N. Voca, B. Jelcic, V. Jurisic, A. Matin, and M. Grubor, "Evaluation of Croatian agricultural solid biomass energy potential," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 93, pp. 225–230, doi: 10.1016/j.rser.2018.05.040.
- [72] V. Tanzi and M. Lanzetta, "A STUDY ON THE PRODUCTION OF AGRICULTURAL RESIDUES IN ITALY," vol. 12, no. 5, pp. 321–331, 1997.
- [73] M. Rodrigues, C. Montan, and N. Fueyo, "The potential for electricity generation from crop and forestry residues in Spain," vol. 34, pp. 703–719, 2010, doi: 10.1016/j.biombioe.2010.01.013.
- [74] D. Voivontas, D. Assimacopoulos, and E. G. Koukios, "Assessment of biomass potential for power production : a GIS based method," vol. 20, pp. 101–112, 2001.
- [75] A. T. Bayat, H. van Gils, and M. Weir, "Carbon Stock of European Beech Forest; A Case at M. Pizzalto, Italy," *APCBEE Procedia*, vol. 1, no. January, pp. 159–168, 2012, doi: 10.1016/j.apcbee.2012.03.026.
- [76] Concelho Europeu, "Programa Operacional Regional Do Alentejo," *Economia*, 2007.
- [77] C. Report, "Mapping Portugal's bio-based potential."
- [78] G. Lourinho and P. Brito, "Assessment of biomass energy potential in a region of Portugal (Alto Alentejo)," *Energy*, vol. 81, pp. 189–201, 2015, doi: 10.1016/j.energy.2014.12.021.
- [79] C. Alentejo, "Comissão de Coordenação e Desenvolvimento Regional do Alentejo," 2021, [Online]. Available: www.ccdr-a.gov.pt.
- [80] Instituto Nacional de Estatísticas, "INE," 2021.
https://ra09.ine.pt/xportal/xmain?xpid=INE&xpgid=ine_indicadores&contexto

=pi&indOcorrCod=0010745&selTab=tab0.

- [81] DGADR (Direção-Geral de Agricultura e Desenvolvimento Rural), “Nota Explicativa da Carta dos Solos de Portugal e da Carta de Capacidade de Uso do Solo.” <https://www.dgadr.gov.pt/nota-explicativa> (accessed Jan. 13, 2022).
- [82] L. 2009 Martins, J.C. & Reis, “Relatório de actividades desenvolvidas no âmbito do Grupo de Trabalho do Olival (GTO).”
- [83] B. Baixa, S. Algarvia, and D. Litoral, “USO E OCUPAÇÃO DO SOLO,” pp. 1–9, 2020.
- [84] Direção-Geral do Território, “CAOP 2019,” 2020.
<https://www.dgterritorio.gov.pt/Carta-Administrativa-Oficial-de-Portugal-CAOP2019>.
- [85] Comissão Europeia, “Copernicus Open Access Hub,” 2017.
<https://scihub.copernicus.eu/dhus/#/home>.
- [86] Direção Geral do Território, “Carta de Uso e Ocupação do Solo, COS 2018,” 2019. <https://www.dgterritorio.gov.pt/cartografia/cartografia-tematica/caop>.
- [87] M. M. G. Marques, *Cartografia de ocupação do solo Portugal Continental Corine Land Cover*. 2006.
- [88] U. Estrat, S. Agr, and S. V. Lqars, “COLHEITA DE AMOSTRAS DE TERRA ANTES DA INSTALAÇÃO DAS CULTURAS (ar livre),” 2021, pp. 3–5.
- [89] R. Panizio, “Tecnologias para uma biorefinaria de resíduos- Material de apoio.” 2020.
- [90] FAO, “Cambisols (CM),” in *LECTURE NOTES ON THE MAJOR SOILS OF THE WORLD*, P. Driessen, W. A. University, I. I. for A. S. and E. S. (ITC), C. U. of L. O. S. N. Jozef Deckers, I. S. R. and I. C. Freddy, and FAO, Eds. 2001.
- [91] FAO, “Mineral Soils conditioned by a (Sub)Humid Temperate Climate,” in *Lecture notes on major soils of the world*, 2001.
- [92] L. N. Centeno, M. D. F. Guevara, S. T. Cecconello, R. O. de Sousa, and L. C. Timm, “Textura Do Solo: Conceitos E Aplicações Em Solos Arenosos,” *Rev. Bras. Eng. e Sustentabilidade*, vol. 4, no. 1, p. 31, 2017, doi: 10.15210/rbes.v4i1.11576.
- [93] I. Instituto Nacional de Estatística, “Superfície das principais culturas agrícolas

(ha),” 2019.

https://www.ine.pt/xportal/xmain?xpid=INE&xpgid=ine_indicadores&contexto=pi&indOcorrCod=0008350&selTab=tab0 (accessed Oct. 23, 2022).

- [94] M. Gonçalves, T. Ramos, A. Horta, J. Martins, and F. Pires, “Base de dados de perfis de solos de Portugal,” *INFOSOLO*, 2020.
<https://projects.iniav.pt/infosolo/>.
- [95] U. D. E. Lisboa, “Estudo de Biocombustíveis Sólidos : Importância das Cinzas para Processos de Combustão,” 2014.
- [96] B. Patel and B. Gami, “Biomass Characterization and its Use as Solid Fuel for Combustion,” *Iran. J. Energy Environ.*, vol. 3, no. 2, pp. 123–128, 2012, doi: 10.5829/idosi.ijee.2012.03.02.0071.
- [97] R. García, C. Pizarro, A. G. Lavín, and J. L. Bueno, “Bioresource Technology Characterization of Spanish biomass wastes for energy use,” vol. 103, pp. 249–258, 2012, doi: 10.1016/j.biortech.2011.10.004.
- [98] C. Yin, “Prediction of higher heating values of biomass from proximate and ultimate analyses,” *Fuel*, vol. 90, no. 3, pp. 1128–1132, 2011, doi: 10.1016/j.fuel.2010.11.031.
- [99] C. P. B. Quitete and M. M. V. M. Souza, “REMOÇÃO DO ALCATRÃO DE CORRENTES DE GASEIFICAÇÃO DE BIOMASSA: PROCESSOS E CATALISADORES,” vol. 37, no. 4, pp. 689–698, 2014.
- [100] A. K. James, R. W. Thring, S. Helle, and H. S. Ghuman, “Ash Management Review—Applications of Biomass Bottom Ash,” pp. 3856–3873, 2012, doi: 10.3390/en5103856.
- [101] P. Taylor and A. Demirbas, “Energy Sources , Part A : Recovery , Utilization , and Environmental Effects Effects of Moisture and Hydrogen Content on the Heating Value of Fuels Effects of Moisture and Hydrogen Content on the,” no. December 2014, pp. 37–41, 2007, doi: 10.1080/009083190957801.

ANEXOS

Anexo 1: Tabelas dos valores da Análise dos solos



Laboratório de Química Agrícola

Análise de solo

Amostra n.º: T22_616 N.º Parcelário:

Identificação da amostra: Argila 1

Proprietário da amostra: Tese Mestrado Eveline Andrade

Morada:

Data da Análise: 07/06/2022

Análise	Resultados	Unidades	Interpretação
Textura de Campo	Pesada		
pH (H ₂ O)	7,3		Neutro
pH (KCl)	5,9		
Condutividade	0,15	mS.cm ⁻¹	Não salino
Matéria Orgânica	1,5	%	Baixo
Fósforo extraível	173	P ₂ O ₅ mg.kg ⁻¹	Alto
Potássio extraível	84	K ₂ O mg.kg ⁻¹	Médio
Cálcio extraível	2006	mg.kg ⁻¹	
Magnésio extraível	367	mg.kg ⁻¹	Muito alto
Azoto total	-	%	
Azoto mineral		mg.kg ⁻¹	
Sódio extraível		mg.kg ⁻¹	
Boro	-	mg.kg ⁻¹	-
Carbonatos	-	%	
Cloretos		mg.kg ⁻¹	
Cobre	-	mg.kg ⁻¹	-
Ferro	-	mg.kg ⁻¹	-
Manganês	-	mg.kg ⁻¹	-
Chumbo	-	mg.kg ⁻¹	
Níquel	-	mg.kg ⁻¹	
Zinco	-	mg.kg ⁻¹	-
Terra Fina	-	%	
Cálcio de troca	-	cmol(+).kg ⁻¹	-
Magnésio de troca	-	cmol(+).kg ⁻¹	-
Sódio de troca	-	cmol(+).kg ⁻¹	-
Potássio de troca	-	cmol(+).kg ⁻¹	-

SBT	-	cmol(+).kg ⁻¹	
CTC	-	cmol(+).kg ⁻¹	-
Acidez de troca	-	cmol(+).kg ⁻¹	
GSB	-	%	-

As Analistas

A Responsável pelo Laboratório

Métodos analíticos de rotina:

pH – Ext. 1:2,5 (m/v); C.E.– Ext. 1:2 (m/v); P e K - Egner-Riehm; Matéria orgânica – Wakley-Black; Ca e Mg - Acetato Amônio (pH7);

N total - Kjeldahl; B - Azometina H; Fe, Cu, Zn e Mn - Lakanen; Carbonatos - C. Bernard; Cl⁻ - Mohr; BT- Acetato de amônio



Laboratório de Química Agrícola

Análise de solo

Amostra n.º:T22_640 N.º Parcelário:

Identificação da amostra: A 1 - Pós colheita

Proprietário da amostra: Tese Mestrado Eveline Andrade

Morada:

Data da Análise: 07/06/2022

Análise	Resultados	Unidades	Interpretação
Textura de Campo	Média		
pH (H ₂ O)	6,6		Neutro
pH (KCl)	5,2		
Condutividade	0,01	mS.cm ⁻¹	Não salino
Matéria Orgânica	1,5	%	Baixo
Fósforo extraível	129	P ₂ O ₅ mg.kg ⁻¹	Alto
Potássio extraível	100	K ₂ O mg.kg ⁻¹	Alto
Cálcio extraível	1075	mg.kg ⁻¹	
Magnésio extraível	337	mg.kg ⁻¹	Muito alto
Azoto total	-	%	
Azoto mineral		mg.kg ⁻¹	
Sódio extraível		mg.kg ⁻¹	
Boro	-	mg.kg ⁻¹	-
Carbonatos	-	%	
Cloretos		mg.kg ⁻¹	
Cobre	-	mg.kg ⁻¹	-
Ferro	-	mg.kg ⁻¹	-
Manganês	-	mg.kg ⁻¹	-
Chumbo	-	mg.kg ⁻¹	
Níquel	-	mg.kg ⁻¹	

Zinco	-	mg.kg ⁻¹	-
Terra Fina	-	%	
Cálcio de troca	-	cmol(+).kg ⁻¹	-
Magnésio de troca	-	cmol(+).kg ⁻¹	-
Sódio de troca	-	cmol(+).kg ⁻¹	-
Potássio de troca	-	cmol(+).kg ⁻¹	-
SBT	-	cmol(+).kg ⁻¹	
CTC	-	cmol(+).kg ⁻¹	-
Acidez de troca	-	cmol(+).kg ⁻¹	
GSB	-	%	-

As Analistas

A Responsável pelo Laboratório

Métodos analíticos de rotina:

pH – Ext. 1:2,5 (m/v); C.E.– Ext. 1:2 (m/v); P e K - Egner-Riehm; Matéria orgânica – Wakley-Black; Ca e Mg - Acetato Amônio (pH7);

N total - Kjeldahl; B - Azometina H; Fe, Cu, Zn e Mn - Lakanen; Carbonatos - C. Bernard; Cl⁻ - Mohr; BT- Acetato de amônio



Laboratório de Química Agrícola

Análise de solo

Amostra n.º:T22_615 N.º Parcelário:

Identificação da amostra: Argila 2

Proprietário da amostra: Tese Mestrado Eveline Andrade

Morada:

Data da Análise: 07/06/2022

Análise	Resultados	Unidades	Interpretação
Textura de Campo	Média		
pH (H ₂ O)	7,0		Neutro
pH (KCl)	5,7		
Condutividade	0,16	mS.cm ⁻¹	Não salino
Matéria Orgânica	1,5	%	Baixo
Fósforo extraível	155	P ₂ O ₅ mg.kg ⁻¹	Alto
Potássio extraível	88	K ₂ O mg.kg ⁻¹	Médio
Cálcio extraível	1784	mg.kg ⁻¹	
Magnésio extraível	357	mg.kg ⁻¹	Muito alto
Azoto total	-	%	
Azoto mineral		mg.kg ⁻¹	
Sódio extraível		mg.kg ⁻¹	
Boro	-	mg.kg ⁻¹	-
Carbonatos	-	%	

Cloretos		mg.kg ⁻¹	
Cobre	-	mg.kg ⁻¹	-
Ferro	-	mg.kg ⁻¹	-
Manganês	-	mg.kg ⁻¹	-
Chumbo	-	mg.kg ⁻¹	
Níquel	-	mg.kg ⁻¹	
Zinco	-	mg.kg ⁻¹	-
Terra Fina	-	%	
Cálcio de troca	-	cmol(+).kg ⁻¹	-
Magnésio de troca	-	cmol(+).kg ⁻¹	-
Sódio de troca	-	cmol(+).kg ⁻¹	-
Potássio de troca	-	cmol(+).kg ⁻¹	-
SBT	-	cmol(+).kg ⁻¹	
CTC	-	cmol(+).kg ⁻¹	-
Acidez de troca	-	cmol(+).kg ⁻¹	
GSB	-	%	-

As Analistas

A Responsável pelo Laboratório

Métodos analíticos de rotina:

pH – Ext. 1:2,5 (m/v); **C.E.**– Ext. 1:2 (m/v); **P e K** - Egner-Riehm; **Matéria orgânica** – Wakley-Black; **Ca e Mg** - Acetato Amônio (pH7);

N total - Kjeldahl; **B** - Azometina H; **Fe, Cu, Zn e Mn** - Lakanen; **Carbonatos** - C. Bernard; **Cl**- Mohr; **BT**- Acetato de amônio



Laboratório de Química Agrícola

Análise de solo

Amostra n.º:T22_642 N.º Parcelário:

Identificação da amostra: A 2 - Pós colheita

Proprietário da amostra: Tese Mestrado Eveline Andrade

Morada:

Data da Análise: 07/06/2022

Análise	Resultados	Unidades	Interpretação
Textura de Campo	Média		
pH (H ₂ O)	6,6		Neutro
pH (KCl)	5,2		
Condutividade	0,09	mS.cm ⁻¹	Não salino
Matéria Orgânica	1,5	%	Baixo
Fósforo extraível	126	P ₂ O ₅ mg.kg ⁻¹	Alto
Potássio extraível	108	K ₂ O mg.kg ⁻¹	Alto
Cálcio extraível	880	mg.kg ⁻¹	

Magnésio extraível	274	mg.kg ⁻¹	Muito alto
Azoto total	-	%	
Azoto mineral		mg.kg ⁻¹	
Sódio extraível		mg.kg ⁻¹	
Boro	-	mg.kg ⁻¹	-
Carbonatos	-	%	
Cloretos		mg.kg ⁻¹	
Cobre	-	mg.kg ⁻¹	-
Ferro	-	mg.kg ⁻¹	-
Manganês	-	mg.kg ⁻¹	-
Chumbo	-	mg.kg ⁻¹	
Níquel	-	mg.kg ⁻¹	
Zinco	-	mg.kg ⁻¹	-
Terra Fina	-	%	
Cálcio de troca	-	cmol(+).kg ⁻¹	-
Magnésio de troca	-	cmol(+).kg ⁻¹	-
Sódio de troca	-	cmol(+).kg ⁻¹	-
Potássio de troca	-	cmol(+).kg ⁻¹	-
SBT	-	cmol(+).kg ⁻¹	
CTC	-	cmol(+).kg ⁻¹	-
Acidez de troca	-	cmol(+).kg ⁻¹	
GSB	-	%	-

As Analistas

A Responsável pelo Laboratório

Métodos analíticos de rotina:

pH – Ext. 1:2,5 (m/v); C.E.– Ext. 1:2 (m/v); P e K - Egner-Riehm; **Matéria orgânica** – Wakley-Black; **Ca e Mg** - Acetato Amónio (pH7);

N total - Kjeldahl; **B** - Azometina H; **Fe, Cu, Zn e Mn** - Lakanen; **Carbonatos** - C. Bernard; Cl⁻ - Mohr; **BT**- Acetato de amónio



Laboratório de Química Agrícola

Análise de solo

Amostra n.º:T22_614 N° Parcelário:

Identificação da amostra: Argila*1

Proprietário da amostra: Tese Mestrado Eveline Andrade

Morada:

Data da Análise: 07/06/2022

Análise	Resultados	Unidades	Interpretação
Textura de Campo	Média		
pH (H2O)	7,0		Neutro

pH (KCl)	5,7		
Condutividade	0,11	mS.cm ⁻¹	Não salino
Matéria Orgânica	1,9	%	Baixo
Fósforo extraível	125	P ₂ O ₅ mg.kg ⁻¹	Alto
Potássio extraível	99	K ₂ O mg.kg ⁻¹	Médio
Cálcio extraível	2296	mg.kg ⁻¹	
Magnésio extraível	447	mg.kg ⁻¹	Muito alto
Azoto total	-	%	
Azoto mineral		mg.kg ⁻¹	
Sódio extraível		mg.kg ⁻¹	
Boro	-	mg.kg ⁻¹	-
Carbonatos	-	%	
Cloretos		mg.kg ⁻¹	
Cobre	-	mg.kg ⁻¹	-
Ferro	-	mg.kg ⁻¹	-
Manganês	-	mg.kg ⁻¹	-
Chumbo	-	mg.kg ⁻¹	
Níquel	-	mg.kg ⁻¹	
Zinco	-	mg.kg ⁻¹	-
Terra Fina	-	%	
Cálcio de troca	-	cmol(+).kg ⁻¹	-
Magnésio de troca	-	cmol(+).kg ⁻¹	-
Sódio de troca	-	cmol(+).kg ⁻¹	-
Potássio de troca	-	cmol(+).kg ⁻¹	-
SBT	-	cmol(+).kg ⁻¹	
CTC	-	cmol(+).kg ⁻¹	-
Acidez de troca	-	cmol(+).kg ⁻¹	
GSB	-	%	-

As Analistas

A Responsável pelo Laboratório

Métodos analíticos de rotina:

pH – Ext. 1:2,5 (m/v); **C.E.**– Ext. 1:2 (m/v); **P e K** - Egner-Riehm; **Matéria orgânica** – Wakley-Black; **Ca e Mg** - Acetato Amónio (pH7);

N total - Kjeldahl; **B** - Azometina H; **Fe, Cu, Zn e Mn** - Lakanen; **Carbonatos** - C. Bernard; **Cl⁻** - Mohr; **BT**- Acetato de amónio



Laboratório de Química Agrícola
Análise de solo

Amostra n.º:T22_641 N° Parcelário:

Identificação da amostra: A*1 - Pós colheita

Proprietário da amostra: Tese Mestrado Eveline Andrade

Morada:

Data da Análise: 07/06/2022

Análise	Resultados	Unidades	Interpretação
Textura de Campo	Média		
pH (H ₂ O)	7,1		Neutro
pH (KCl)	5,9		
Condutividade	0,15	mS.cm ⁻¹	Não salino
Matéria Orgânica	2,2	%	Médio
Fósforo extraível	132	P ₂ O ₅ mg.kg ⁻¹	Alto
Potássio extraível	160	K ₂ O mg.kg ⁻¹	Alto
Cálcio extraível	1746	mg.kg ⁻¹	
Magnésio extraível	538	mg.kg ⁻¹	Muito alto
Azoto total	-	%	
Azoto mineral		mg.kg ⁻¹	
Sódio extraível		mg.kg ⁻¹	
Boro	-	mg.kg ⁻¹	-
Carbonatos	-	%	
Cloretos		mg.kg ⁻¹	
Cobre	-	mg.kg ⁻¹	-
Ferro	-	mg.kg ⁻¹	-
Manganês	-	mg.kg ⁻¹	-
Chumbo	-	mg.kg ⁻¹	
Níquel	-	mg.kg ⁻¹	
Zinco	-	mg.kg ⁻¹	-
Terra Fina	-	%	
Cálcio de troca	-	cmol(+).kg ⁻¹	-
Magnésio de troca	-	cmol(+).kg ⁻¹	-
Sódio de troca	-	cmol(+).kg ⁻¹	-
Potássio de troca	-	cmol(+).kg ⁻¹	-
SBT	-	cmol(+).kg ⁻¹	
CTC	-	cmol(+).kg ⁻¹	-
Acidez de troca	-	cmol(+).kg ⁻¹	
GSB	-	%	-

As Analistas

A Responsável pelo Laboratório

Métodos analíticos de rotina:

pH – Ext. 1:2,5 (m/v); **C.E.**– Ext. 1:2 (m/v); **P e K** - Egner-Riehm; **Matéria orgânica** – Wakley-Black; **Ca e Mg** - Acetato Amónio (pH7);

N total - Kjeldahl; **B** - Azometina H; **Fe, Cu, Zn e Mn** - Lakanen; **Carbonatos** - C. Bernard; Cl⁻ - Mohr; **BT**- Acetato de amónio

Análise de solo

Amostra n.º:T22_617 **Nº Parcelário:**

Identificação da amostra: Argila*2

Proprietário da amostra: Tese Mestrado Eveline Andrade

Morada:

Data da Análise: 07/06/2022

Análise	Resultados	Unidades	Interpretação
Textura de Campo	Pesada		
pH (H ₂ O)	6,8		Neutro
pH (KCl)	5,6		
Condutividade	0,17	mS.cm ⁻¹	Não salino
Matéria Orgânica	1,7	%	Baixo
Fósforo extraível	137	P ₂ O ₅ mg.kg ⁻¹	Alto
Potássio extraível	104	K ₂ O mg.kg ⁻¹	Alto
Cálcio extraível	1786	mg.kg ⁻¹	
Magnésio extraível	457	mg.kg ⁻¹	Muito alto
Azoto total	-	%	
Azoto mineral		mg.kg ⁻¹	
Sódio extraível		mg.kg ⁻¹	
Boro	-	mg.kg ⁻¹	-
Carbonatos	-	%	
Cloretos		mg.kg ⁻¹	
Cobre	-	mg.kg ⁻¹	-
Ferro	-	mg.kg ⁻¹	-
Manganês	-	mg.kg ⁻¹	-
Chumbo	-	mg.kg ⁻¹	
Níquel	-	mg.kg ⁻¹	
Zinco	-	mg.kg ⁻¹	-
Terra Fina	91	%	
Cálcio de troca	-	cmol(+).kg ⁻¹	-
Magnésio de troca	-	cmol(+).kg ⁻¹	-
Sódio de troca	-	cmol(+).kg ⁻¹	-
Potássio de troca	-	cmol(+).kg ⁻¹	-
SBT	-	cmol(+).kg ⁻¹	
CTC	-	cmol(+).kg ⁻¹	-
Acidez de troca	-	cmol(+).kg ⁻¹	
GSB	-	%	-

As Analistas

A Responsável pelo Laboratório

Métodos analíticos de rotina:

pH – Ext. 1:2,5 (m/v); **C.E.**– Ext. 1:2 (m/v); **P e K** - Egner-Riehm; **Matéria orgânica** – Wakley-Black; **Ca e Mg** - Acetato Amónio (pH7);

N total - Kjeldahl; **B** - Azometina H; **Fe, Cu, Zn e Mn** - Lakanen; **Carbonatos** - C. Bernard; **Cl⁻** - Mohr; **BT**- Acetato de amónio

Amostra n.º:T22_643 N.º Parcelário:

Identificação da amostra: A*2 - Pós colheita

Proprietário da amostra: Tese Mestrado Eveline Andrade

Morada:

Data da Análise: 07/06/2022

Análise	Resultados	Unidades	Interpretação
Textura de Campo	Pesada		
pH (H ₂ O)	7,0		Neutro
pH (KCl)	5,6		
Condutividade	0,15	mS.cm ⁻¹	Não salino
Matéria Orgânica	1,6	%	Baixo
Fósforo extraível	120	P ₂ O ₅ mg.kg ⁻¹	Alto
Potássio extraível	124	K ₂ O mg.kg ⁻¹	Alto
Cálcio extraível	2336	mg.kg ⁻¹	
Magnésio extraível	491	mg.kg ⁻¹	Muito alto
Azoto total	-	%	
Azoto mineral		mg.kg ⁻¹	
Sódio extraível		mg.kg ⁻¹	
Boro	-	mg.kg ⁻¹	-
Carbonatos	-	%	
Cloretos		mg.kg ⁻¹	
Cobre	-	mg.kg ⁻¹	-
Ferro	-	mg.kg ⁻¹	-
Manganês	-	mg.kg ⁻¹	-
Chumbo	-	mg.kg ⁻¹	
Níquel	-	mg.kg ⁻¹	
Zinco	-	mg.kg ⁻¹	-
Terra Fina	-	%	
Cálcio de troca	-	cmol(+).kg ⁻¹	-
Magnésio de troca	-	cmol(+).kg ⁻¹	-
Sódio de troca	-	cmol(+).kg ⁻¹	-
Potássio de troca	-	cmol(+).kg ⁻¹	-
SBT	-	cmol(+).kg ⁻¹	
CTC	-	cmol(+).kg ⁻¹	-
Acidez de troca	-	cmol(+).kg ⁻¹	

GSB	-	%	-
As Analistas		A Responsável pelo Laboratório	

Métodos analíticos de rotina:

pH – Ext. 1:2,5 (m/v); C.E.– Ext. 1:2 (m/v); P e K - Egner-Riehm; **Matéria orgânica** – Wakley-Black; Ca e Mg - Acetato Amônio (pH7);

N total - Kjeldahl; B - Azometina H; Fe, Cu, Zn e Mn - Lakanen; Carbonatos - C. Bernard; Cl⁻ - Mohr; BT- Acetato de amônio



Laboratório de Química Agrícola

Análise de solo

Amostra n.º:T22_611 N.º Parcelário:

Identificação da amostra: Olival 1

Proprietário da amostra: Tese Mestrado Eveline Andrade

Morada:

Data da Análise: 07/06/2022

Análise	Resultados	Unidades	Interpretação
Textura de Campo	Média		
pH (H ₂ O)	8,5		Alcalino
pH (KCl)	7,3		
Condutividade	0,23	mS.cm ⁻¹	Não salino
Matéria Orgânica	1,1	%	Baixo
Fósforo extraível	50	P ₂ O ₅ mg.kg ⁻¹	Médio
Potássio extraível	86	K ₂ O mg.kg ⁻¹	Médio
Cálcio extraível	4550	mg.kg ⁻¹	
Magnésio extraível	344	mg.kg ⁻¹	Muito alto
Azoto total	-	%	
Azoto mineral		mg.kg ⁻¹	
Sódio extraível		mg.kg ⁻¹	
Boro	-	mg.kg ⁻¹	-
Carbonatos	-	%	
Cloretos		mg.kg ⁻¹	
Cobre	-	mg.kg ⁻¹	-
Ferro	-	mg.kg ⁻¹	-
Manganês	-	mg.kg ⁻¹	-
Chumbo	-	mg.kg ⁻¹	
Níquel	-	mg.kg ⁻¹	
Zinco	-	mg.kg ⁻¹	-
Terra Fina	-	%	
Cálcio de troca	-	cmol(+).kg ⁻¹	-

Magnésio de troca	-	cmol(+).kg ⁻¹	-
Sódio de troca	-	cmol(+).kg ⁻¹	-
Potássio de troca	-	cmol(+).kg ⁻¹	-
SBT	-	cmol(+).kg ⁻¹	
CTC	-	cmol(+).kg ⁻¹	-
Acidez de troca	-	cmol(+).kg ⁻¹	
GSB	-	%	-

As Analistas

A Responsável pelo Laboratório

Métodos analíticos de rotina:

pH – Ext. 1:2,5 (m/v); **C.E.**– Ext. 1:2 (m/v); **P e K** - Egner-Riehm; **Matéria orgânica** – Wakley-Black; **Ca e Mg** - Acetato Amônio (pH7);

N total - Kjeldahl; **B** - Azometina H; **Fe, Cu, Zn e Mn** - Lakanen; **Carbonatos** - C. Bernard; **Cl**- Mohr; **BT**- Acetato de amônio



Laboratório de Química Agrícola

Análise de solo

Amostra n.º:T22_612 N.º Parcelário:

Identificação da amostra: Olival 2

Proprietário da amostra: Tese Mestrado Eveline Andrade

Morada:

Data da Análise: 07/06/2022

Análise	Resultados	Unidades	Interpretação
Textura de Campo	Média		
pH (H ₂ O)	7,4		Neutro
pH (KCl)	5,3		
Condutividade	0,13	mS.cm ⁻¹	Não salino
Matéria Orgânica	0,39	%	Muito baixo
Fósforo extraível	35	P ₂ O ₅ mg.kg ⁻¹	Baixo
Potássio extraível	68	K ₂ O mg.kg ⁻¹	Médio
Cálcio extraível	2574	mg.kg ⁻¹	
Magnésio extraível	767	mg.kg ⁻¹	Muito alto
Azoto total	-	%	
Azoto mineral		mg.kg ⁻¹	
Sódio extraível		mg.kg ⁻¹	
Boro	-	mg.kg ⁻¹	-
Carbonatos	-	%	
Cloretos		mg.kg ⁻¹	
Cobre	-	mg.kg ⁻¹	-
Ferro	-	mg.kg ⁻¹	-

Manganês	-	mg.kg ⁻¹	-
Chumbo	-	mg.kg ⁻¹	
Níquel	-	mg.kg ⁻¹	
Zinco	-	mg.kg ⁻¹	-
Terra Fina	-	%	
Cálcio de troca	-	cmol(+).kg ⁻¹	-
Magnésio de troca	-	cmol(+).kg ⁻¹	-
Sódio de troca	-	cmol(+).kg ⁻¹	-
Potássio de troca	-	cmol(+).kg ⁻¹	-
SBT	-	cmol(+).kg ⁻¹	
CTC	-	cmol(+).kg ⁻¹	-
Acidez de troca	-	cmol(+).kg ⁻¹	
GSB	-	%	-

As Analistas

A Responsável pelo Laboratório

Métodos analíticos de rotina:

pH – Ext. 1:2,5 (m/v); C.E.– Ext. 1:2 (m/v); P e K - Egner-Riehm; **Matéria orgânica** – Wakley-Black; **Ca e Mg** - Acetato Amônio (pH7);

N total - Kjeldahl; **B** - Azometina H; **Fe, Cu, Zn e Mn** - Lakanen; **Carbonatos** - C. Bernard; Cl⁻ - Mohr; **BT**- Acetato de amônio



Laboratório de Química Agrícola

Análise de solo

Amostra n.º:T22_613 N.º Parcelário:

Identificação da amostra: Olival 3

Proprietário da amostra: Tese Mestrado Eveline Andrade

Morada:

Data da Análise: 07/06/2022

Análise	Resultados	Unidades	Interpretação
Textura de Campo	Média		
pH (H ₂ O)	8,4		Pouco alcalino
pH (KCl)	7,4		
Condutividade	0,15	mS.cm ⁻¹	Não salino
Matéria Orgânica	1,3	%	Baixo
Fósforo extraível	> 200	P ₂ O ₅ mg.kg ⁻¹	Muito alto
Potássio extraível	107	K ₂ O mg.kg ⁻¹	Alto
Cálcio extraível	3890	mg.kg ⁻¹	
Magnésio extraível	262	mg.kg ⁻¹	Muito alto
Azoto total	-	%	
Azoto mineral		mg.kg ⁻¹	

Sódio extraível		mg.kg ⁻¹	
Boro	-	mg.kg ⁻¹	-
Carbonatos	-	%	
Cloretos		mg.kg ⁻¹	
Cobre	-	mg.kg ⁻¹	-
Ferro	-	mg.kg ⁻¹	-
Manganês	-	mg.kg ⁻¹	-
Chumbo	-	mg.kg ⁻¹	
Níquel	-	mg.kg ⁻¹	
Zinco	-	mg.kg ⁻¹	-
Terra Fina	-	%	
Cálcio de troca	-	cmol(+).kg ⁻¹	-
Magnésio de troca	-	cmol(+).kg ⁻¹	-
Sódio de troca	-	cmol(+).kg ⁻¹	-
Potássio de troca	-	cmol(+).kg ⁻¹	-
SBT	-	cmol(+).kg ⁻¹	
CTC	-	cmol(+).kg ⁻¹	-
Acidez de troca	-	cmol(+).kg ⁻¹	
GSB	-	%	-

As Analistas

A Responsável pelo Laboratório

Métodos analíticos de rotina:

pH – Ext. 1:2,5 (m/v); **C.E.**– Ext. 1:2 (m/v); **P e K** - Egner-Riehm; **Matéria orgânica** – Wakley-Black; **Ca e Mg** - Acetato Amônio (pH7);

N total - Kjeldahl; **B** - Azometina H; **Fe, Cu, Zn e Mn** - Lakanen; **Carbonatos** - C. Bernard; **Cl⁻** - Mohr; **BT**- Acetato de amônio

Anexo 2: Informação relativa aos solos

Tabela 28: Principais agrupamentos de solos* do Alentejo ocupados por olival intensivo

Agrupamentos	Famílias (SROA)	Área (%)
D	Vx(d), Px(d), Ex	5,3%
L	Par(p), Pg, Ppg,	3,3%
C	Vc, Pc, Vct, Pct, Vcx, Pcx, Vcr	11,7%
Cb	Vc', Pc',	2,1%
Bn	Cb	2,0%
Bc1	Bvc, Bpc	7,3%
Bc2	Cp	0,5%
Mn	Sr, Pv, Px, Vx, Pmg, Svqx, Pgn	7,8%
Mb	Pm	6,4%
Mcñ	Vcc, Vcv, Scv, Pvc	7,0%
Mcb	Vcm, Pac	7,6%
Mh	Pag, Pdg	10,6%
Hb	Pcz	0,2%
At	Atl, At	0,9%
A	A	0,6%

* constituídos com base nas famílias de solos com mais de 100 ha em cada concelho; a área total de olival intensivo considerada foi de 46.934 ha nos 22 concelhos com maior área de olival;

SROA – Serviços de Reconhecimento e Ordenamento Agrários

Fonte [82]

Tabela 29: Estimativa da suscetibilidade de algumas unidades–solo a estes tipos de risco

Agrupamentos	Famílias de solos	Susceptibilidade dos solos					
		Perda de nutrientes	Salinização	Erosão	Compactação	Contaminação	
						lixiviação de Hr	PFF
D	Px(d), Vx(d)	A	B	A	B	A	B
L	Ppg, Pg, Par(p)	A	B	A	B	A	B
C	Vc, Pc, Vct, Pct, Vcx, Pcx	B	B	B	M a A	B	A
Bn	Cb, Bp	M	M	B	A	B	A
Bc1	Bvc, Bpc	M	M	B	A	B	A
Bc2	Cp, Cpv	M	M	B	A	B	A
Mn	Vx, Px, Sr, Pv, Pmg, Pgn, Vagn, Vgn	M	M	A	M a A	M	M
Mb	Pm, Vm	M	A	M	M a A	M	M
Mc1	Vcc, Pvc, Vcv, Scv	B	M	B	A	B	A
Mcb	Pac, Vcm	B	M	B	A	M a B	A
Mh	Pag, Pagn, Pagx, Pmh, Vag, Pagc, Pdg	M	A	M a A	M a A	M	A
Hb	Cd, Pcz	B	A	B	A	B	A

* Graus de susceptibilidade: Alta (A), Moderada (M) e baixa (B)

^{a)} em situações de baixo declive – 0 a 2%

PFF = produtos fitofarmacêuticos

Hr = herbicidas residuais

Fonte [82]

Anexo 3: Colheita da biomassa de podas de oliveira



Figura 38: Colheita dos resíduos das podas de Oliveira

Anexo 4: Biomassas rececionadas no IPP



Figura 39: Biomassa lenhocelulósica (subproduto vegetal de cevada).



Figura 40: Biomassa lenhocelulósica (subproduto vegetal de trigo).



Figura 41: Biomassa lenhocelulósica (subproduto vegetal de centeio).



Figura 42: Biomassa lenhocelulósica (podas de Oliveira).



Figura 43: Podas de oliveira triturada.

Anexo 5: Exemplos de cálculos e expressão dos resultados da análise do solo

▪ Exemplo de cálculo para o teor da matéria orgânica

$$\text{MO (g)} = \frac{V_b - V_g}{m \times V_g} \times 1,724$$

Em que:

V_b – volume gasto no branco;

V_g – volume gasto na amostra;

1,724 – Fator para converter carbono em matéria orgânica;

▪ Exemplo de cálculo para o teor de Fósforo (P)

A partir da curva de calibração, determinar as concentrações de fósforo (P) correspondentes às absorvâncias do extrato obtido para análise e do ensaio em branco. O teor de fósforo extraível na amostra de terra analisada é dado pela expressão:

$$P = \frac{(C - C_{EB}) \times V}{m}$$

Em que:

P – Teor de fósforo da terra, expresso em mg kg⁻¹

V – Volume de solução utilizado na extração, em mL

C – Concentração de fósforo (P) do extrato, em mg kg⁻¹

C_{EB} – Concentração de fósforo (P) do ensaio em branco, em mg kg⁻¹

m – Massa da toma de terra analisada, em g

Nas condições da técnica operatória descrita, em que V = 40mL e m = 2g, a expressão reduz-se a:

$$P = \text{leitura} \times 20 \times 2,29$$

Em que 2,29 é o fator para converter o resultado de P em P₂O₅: **P₂O₅ = 2.29xP**

▪ **Exemplo de cálculo para o teor de Potássio (K)**

A partir da curva de calibração, determinar as concentrações do elemento correspondentes às absorvâncias do extrato obtido para análise e do ensaio em branco. O teor do elemento extraível na amostra de terra analisada é dado pela expressão:

$$\text{El.} = \frac{(C - C_{\text{EB}}) \times V}{m}$$

em que:

El. – teor do elemento da terra, expresso em mg kg⁻¹

V – Volume de solução utilizado na extração, em mL

C – Concentração do elemento (K) do extrato, em mg kg⁻¹

C_{EB} – concentração do elemento (K) do ensaio em branco, em mg kg⁻¹

m – Massa da toma de terra analisada, em g

Nas condições da técnica operatória descrita, em que V = 40mL e m = 2g, a expressão reduz-se a:

$$K = 20 \times (C - C_{\text{EB}})$$

Para converter o resultado de K em K₂O: K₂O = 1.2 x K

Anexo 6: Nomenclatura da carta de uso do solo de Portugal Continental

Tabela 30: Nomenclatura da carta de ocupação do solo de Portugal Continental

COS2018			
Nível 1	Nível 2	Nível 3	Nível 4
1. Território artificializado	1.1. Tecido edificado	1.1.1. Tecido edificado contínuo	1.1.1.1. Tecido edificado contínuo predominantemente vertical
			1.1.1.2. Tecido edificado contínuo predominantemente horizontal
		1.1.2. Tecido edificado descodificado	1.1.2.1. Tecido edificado descontínuo
			1.1.2.2. Tecido edificado descontínuo esparso
		1.1.3. Espaços vazios em tecido edifício	1.1.3.1. Áreas de estacionamento e logradouros
			1.1.3.2. Espaços vazios sem construção
	1.2. Indústria, comércio e instalação agrícolas	1.2.1. Indústria	1.2.1.1. Indústria
		1.2.2. Comércio	1.2.2.1. Comércio
		1.2.3. Instalações agrícolas	1.2.3.1. Instalações agrícolas
	1.3. Infraestruturas	1.3.1. Infraestruturas de produção de energia	1.3.1.1. Infraestruturas de produção de energia renovável

			1.3.1.2. Infraestruturas de produção de energia não renovável
		1.3.2. Infraestruturas de águas e tratamentos de resíduos	1.3.2.1. Infraestruturas para capacitação, tratamento e abastecimento de águas para consumo 1.3.2.2. Infraestruturas de tratamento de resíduos e águas residuais
	1.4. Transportes	1.4.1. Redes viárias e ferroviárias e espaços associados	1.4.1.1. Rede viária e espaços associados 1.4.1.2. Rede ferroviária e espaços associados
		1.4.2. Áreas portuárias	1.4.2.1. Terminais portuários de mar e de rio 1.4.2.2. Estaleiros navais e docas secas 1.4.2.3. Marinas e docas pesca
		1.4.3. Aeroportos e aeródromos	1.4.3.1. Aeroportos 1.4.3.2. Aeródromos
	1.5. Áreas de extração de inertes, áreas de deposição de resíduos e estaleiros de construção	1.5.1. Áreas de extração de inertes	1.5.1.1. Minas a céu aberto 1.5.1.2. Pedreiras
		1.5.2. Áreas de deposição de resíduos	1.5.2.1. Aterros 1.5.2.2. Lixeiras e Sucatas
		1.5.3. Áreas em construção	1.5.3.1. Áreas em construção

	1.6. Equipamento	1.6.1. Equipamentos desportivos	1.6.1.1. Campos de golfe
			1.6.1.2. Instalações desportivas
		1.6.2. Equipamentos de lazer e parques de campismo	1.6.2.1. Parques de campismo
			1.6.2.2. Equipamentos de lazer
		1.6.3. Equipamentos culturais	1.6.3.1. Equipamentos culturais
		1.6.4. Cemitérios	1.6.4.1. Cemitérios
		1.6.5. Outros Equipamentos e instalações turísticas	1.6.5.1. Outros equipamentos e instalações turísticas
	1.7. Parques e jardins	1.7.1. Parques e jardins	1.7.1.1. Parques e jardins
2. Agricultura	2.1. Culturas temporárias	2.1.1. Culturas temporárias de sequeiro e regadio e arrozais	2.1.1.1. Culturas temporárias de sequeiro e regadio
			2.1.1.2. Arrozais
	2.2. Culturas permanentes	2.2.1. Vinhas	2.2.1.1. Vinhas
		2.2.2. Pomares	2.2.2.1. Pomares
		2.2.3. Olivais	2.2.3.1. Olivais
	2.3. Área agrícolas heterogéneas	2.3.1. Culturas temporárias e ou/ pastagens melhoradas associadas a culturas permanentes	2.3.1.1. Culturas temporárias e ou/ pastagens melhoradas associadas a vinha
			2.3.1.2. Culturas temporárias e ou/ pastagens melhoradas associadas a pomar
			2.3.1.3. Culturas temporárias e ou/ pastagens melhoradas associadas a olival

		2.3.2. Mosaicos culturais e parcelas complexos	2.3.2.1. Mosaicos culturais e parcelas complexos
		2.3.3. Agricultura com espaços naturais e seminaturais	2.3.3.1. Agricultura com espaços naturais e seminaturais
	2.4. Agricultura protegida e viveiros	2.4.1. Agricultura protegida e viveiros	2.4.1.1. Agricultura protegida e viveiros
3. Pastagens	3.1. Pastagens	3.1.1. Pastagens melhoradas	3.1.1.1. Pastagens melhoradas
		3.1.2. Pastagens espontâneas	3.1.2.1. Pastagens espontâneas
4. Superfícies agroflorestais (SAF)	4.1. Superfícies agroflorestais (SAF)	4.1.1. Superfícies agroflorestais (SAF)	4.1.1.1. SAF de sobreiro
			4.1.1.2. SAF de azinheira
			4.1.1.3. SAF de outros carvalhos
			4.1.1.4. SAF de pinheiro-manso
			4.1.1.5. SAF de outras espécies
			4.1.1.6. SAF de sobreiro com azinheira
			4.1.1.7. SAF de outras misturas
			5.1.1.1. Florestas de sobreiro
			5.1.1.2. Florestas de azinheira
			5.1.1.3. Florestas de outros carvalhos

5. Florestais	5.1. Florestas	5.1.1. Florestas de folhosas	5.1.1.4. Florestas de castanheiro
			5.1.1.5. Florestas de eucalipto
			5.1.1.6. Florestas de espécies invasoras
			5.1.1.7. Florestas de outras folhosas
		5.1.2. Florestas de resinosas	5.1.2.1. Florestas de pinheiro-bravo
			5.1.2.2. Florestas de pinheiro-manso
			5.1.2.3. Florestas de outras resinosas
6. Matos	6.1. Matos	6.1.1. Matos	6.1.1.1. Matos
7. Espaços descobertos ou com pouca vegetação	7.1. Espaços descobertos ou com pouca vegetação	7.1.1. Praias, dunas e areais	7.1.1.1. Praias, dunas e areais interiores 7.1.1.2. Praias, dunas e areais costeiros
		7.1.2. Rocha nua	7.1.2.1. Rocha nua
		7.1.3. Vegetação esparsa	7.1.3.1. Vegetação esparsa
8. Zonas húmidas	8.1. Zonas húmidas	8.1.1. Zonas húmidas interiores	8.1.1.1. Pauis
			8.1.1.2. Sapais
		8.1.2. Zonas húmidas litorais	8.1.2.1. Sapais
			8.1.2.2. Zonas entremarés

9. Massas de água superficiais	9.1. Massas de água interiores	9.1.1. Cursos de água	9.1.1.1. Cursos de água naturais
			9.1.1.2. Cursos de água modificados ou artificializados
		9.1.2. Planos de água	9.1.2.1. Lagos e lagoas interiores artificiais
			9.1.2.2. Lagos e lagoas interiores naturais
			9.1.2.3. Albufeiras de barragens
			9.1.2.4. Albufeiras de represas ou de açudes
			9.1.2.5. Charcas
	9.2. Aquicultura	9.2.1. Aquicultura	9.2.1.1. Aquicultura
	9.3. Massas de água de transição e costeiras	9.3.1. Salinas	9.3.1.1. Salinas
		9.3.2. Lagoas costeiras	9.3.2.1. Lagoas costeiras
		9.3.3. Desembocaduras fluviais	9.3.3.1. Desembocaduras fluviais
		9.3.4. Oceano	9.3.4.1. Oceano

Fonte [58]

Anexo 7: Informações do mapa de pH, teor de matéria orgânica, argila, limo, areia e capacidade de troca dos solos

