

Variação espacial e sazonal de cobertos de Castanheiro (*Castanea sativa* Mill.) na região de Trás-os-Montes: avaliações com recurso ao índice NDVI

Alice Beatriz Patekoski Santos Neto

*Dissertação apresentada à Escola Superior Agrária de Bragança
para obtenção do Grau de Mestre em Tecnologia Ambiental no
âmbito da dupla diplomação com a Universidade Tecnológica
Federal do Paraná- Francisco Beltrão*

Orientada por

Prof.º Dr. Tomás D'Aquino Freitas Rosa de Figueiredo

Prof.ª Dra. Zulimar Hernández

Prof.º Dr. Fernando César Manosso

**Bragança
2021**

Variação espacial e sazonal de cobertos de Castanheiro (*Castanea sativa* Mill.) na região de Trás-os-Montes: avaliações com recurso ao índice NDVI

Alice Beatriz Patekoski Santos Neto

Orientada por

Prof.º Dr. Tomás D'Aquino Freitas Rosa de Figueiredo (ESA-IPB)

Prof.ª Dra. Zulimar Hernández (Colab MORE, Bragança)

Prof.º Dr. Fernando César Manosso (UTFPR-FB)

Dedico esta dissertação à minha querida avó (in memoriam), exemplo de humildade, caráter, dignidade e virtude.

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, agradeço aos meus pais **Luciene R. Patekoski e Abílio Fernando A. F. de Barros** por todo exemplo, incentivo, apoio e amor incondicional demonstrado ao longo de todos esses anos, por sempre terem acreditado no meu potencial, me encorajado e nunca me deixado desistir. Também agradeço as minhas irmãs **Kaillane Cristini P. F. de Barros, Loraine Sofia P. F. de Barros** e a caçula **Ágata Emanuela P. F. de Barros**, por todo incentivo e motivação, que mesmo com a distância sempre estiveram presentes em minha vida. Agradeço a minha prima **Flávia F. Rodrigues** por todas as parcerias acadêmicas e participações em congressos, e a todos os meus **familiares** por me apoiarem mesmo que de longe.

Agradeço imensamente aos professores **Tomás D'Aquino Freitas Rosa de Figueiredo, Fernando César Manosso e Zulimar Hernández**, orientadores deste projeto, por toda a confiança, apoio, entusiasmos, ensinamentos e principalmente por toda disponibilidade prestada para o direcionamento e resolução de todos os problemas que surgiram ao longo deste trabalho.

Agradeço a **Universidade Tecnológica Federal do Paraná - campus Francisco Beltrão**, por todas as oportunidades e infraestrutura disponibilizadas ao longo do curso, e um agradecimento mais do que especial a todos os **professores do curso de Engenharia Ambiental**, pelos inúmeros ensinamentos, que foram muito além da esfera educacional, contribuindo não somente para a construção do meu conhecimento acadêmico, mas também por minha formação profissional e pessoal. Agradeço a **coordenação do curso** de engenharia ambiental e aos professores **Wagner de Aguiar e Denise Andréia Szymczak** que não mediram esforços para me auxiliar, direcionar e solucionar todas as adversidades encontradas ao longo do programa de duplo diploma.

Agradeço ao **Instituto Politécnico de Bragança**, pelo ensino e sobretudo pelo acordo de duplo diploma, o qual me possibilitou a realização do mestrado, sendo fundamental para o enriquecimento da minha formação acadêmica e científica.

Agradeço de coração aos meus amigos **Marcia Brandão, Elen Karnoski, Fernanda Pança, Felipe Alves, Matheus Zorawski, Laís Serafini e Larissa Freitas** por todo apoio, carinho, afeto, dedicação, por todas as horas e momentos passados durante esta fase, vocês foram uma surpresa e o melhor

presente que recebi, graças a vocês está caminhada se tornou mais fácil, leve e divertida. Vocês são uma família para mim.

Foram várias as pessoas que desde o início estiveram ao meu lado neste percurso, me incentivaram, apoiaram e me acolheram, como tal não poderia deixar de expressar o meu reconhecimento, a todos, os meus sinceros agradecimentos!

*“Foi o tempo que dedicaste à tua rosa
que a fez tão importante”.*

(Antoine De Saint-Exupéry)

RESUMO

A produção nacional de castanhas representa um fator crucial para a economia regional, especialmente em Trás-os-Montes, Nordeste de Portugal. As áreas ocupadas com castanheiros têm vindo a aumentar ao longo dos últimos anos. Sendo assim, esta dissertação tem como principal objetivo, analisar, avaliar e delimitar espacialmente os castanheiros, identificando a distribuição da cobertura vegetal ocupada por castanheiros (*Castanea sativa* Mill.) na região Nordeste (NE) de Portugal, utilizando recursos de imagem do Satélite Sentinel 2, dos últimos cinco anos, 2017, 2018, 2019, 2020 e 2021, com enfoque na utilização de bandas espectrais pelo cálculo do Índice de Vegetação por diferença Normalizada (NDVI), para identificar e analisar o castanheiro ao longo das estações do ano e sua distribuição espacial, diferenciando a cobertura florestal da cobertura de pomares. As imagens de satélite foram obtidas a partir do servidor EO Browser. Realizou-se o tratamento das imagens nos softwares ArcGis e Google Earth, e, para o tratamento dos dados obtidos utilizou-se o software Excel. Neste estudo constatou-se que os castanheiros se adaptam às variações espaciais e, porém, em áreas com maiores altitudes ocorre maior concentração e distribuição de castanheiros (entre 500 e 1000 metros), estando distribuídos em sua maior parte nos concelhos de Vinhais e Bragança com altitudes médias de 714 e 799 metros, respetivamente. Os valores de NDVI variam ao longo do ano, esse fato está relacionado ao estado fenológico dos castanheiros em conjunto com as distinções climáticas das estações ao longo do ano. No outono e inverno valores de NDVI são menores já no verão e primavera são maiores uma vez que os castanheiros possuem mais visibilidade no NIR. O valor máximo de NDVI para as florestas foi de 0,70 frente ao 0,56 para os pomares. Os valores de NDVI são sensíveis às variações climáticas, eventos como geadas e de neve impactam diretamente na leitura espectral da imagem, sendo assim, o NDVI pode ser um indicador bioclimático.

Palavra-chaves: *Castanea Sativa*; Satélite; Sentinel; Deteção Remota; Bandas espectrais; Portugal.

ABSTRACT

The national chestnut production represents a crucial factor for the regional economy, especially in Trás-os-Montes, Northeast Portugal. The areas occupied with chestnut trees have been increasing over the last years. Therefore, this dissertation has as main objective, to analyse, evaluate and spatially delimit the chestnut trees, identifying the distribution of the vegetation cover occupied by chestnut trees (*Castanea sativa* Mill.) in the Northeast (NE) region of Portugal, using Sentinel 2 Satellite image resources from the last five years, 2017, 2018, 2019, 2020 and 2021, focusing on the use of spectral bands by calculating the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), to identify and analyse the chestnut tree throughout the seasons and its spatial distribution, differentiating the forest cover from the orchard cover. The satellite images were obtained from the EO Browser server. The treatment of the images was carried out in ArcGis and Google Earth software, and, for the treatment of the data obtained, Excel software was used. This study showed that the chestnut-trees adapt to spatial variations and, however, in areas with higher altitudes occurs greater concentration and distribution of chestnut trees (between 500 and 1000 meters), being distributed mostly in the municipalities of Vinhais and Bragança with average altitudes of 714 and 799 meters, respectively. The NDVI values vary throughout the year, this fact is related to the phenological state of the chestnut-trees together with the climatic distinctions of the seasons throughout the year. In autumn and winter NDVI values are lower, whereas in summer and spring they are higher because the chestnut-trees have more visibility in the NIR. The maximum NDVI value for the forests was 0.70 versus 0.56 for the orchards. The NDVI values are sensitive to climatic variations, events such as frost and snow impact directly on the spectral reading of the image, therefore, the NDVI can be a bioclimatic indicator.

Keywords: *Castanea Sativa*; Satellite; Sentinel; Remote Sensing; NDVI; Spectral Bands; Portugal.

ÍNDICE

AGRADECIMENTOS	iv
RESUMO.....	vii
ABSTRACT	viii
LISTA DE FIGURAS	xi
LISTA DE TABELAS	xiii
LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS	xiv
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	4
2.1.O Castanheiro.....	4
2.1.1. Castanheiro no mundo	4
2.1.2. Castanheiro europeu (<i>Castanea sativa</i> Mill.).....	5
2.1.3. Castanheiros para madeira e para fruto	8
2.1.4. Distribuição geográfica das áreas de castanheiro em Portugal.....	8
2.1.5. Exploração do castanheiro	9
2.2.Deteção Remota.....	11
2.2.1. Conceitos gerais.....	11
2.2.2. Programa de satélites: Sentinel-2	12
2.2.3. Assinatura espectral.....	14
2.2.4. Índice de vegetação NVDI.....	14
2.3.Software de tratamento e representação espacial de informação remota	
15	
2.3.1. Sentinel Application Platform (SNAP)	15
2.3.2. ArcGIS.....	16
2.3.3. Google Earth	16
3. MATERIAL E MÉTODOS	18
3.1.Localização da área de estudo	18
3.2.Caracterização da área de estudo	18
3.2.1. Clima	18

3.2.2. Geomorfologia.....	20
3.2.3. Solo	20
3.3. Estrutura e processos metodológicos	21
3.3.1. Tratamento estatístico.....	24
4. RESULTADOS.....	26
4.1. Análise espacial.....	26
4.1.1. Florestas.....	26
4.1.1.1. Altitude	28
4.1.1.2. Longitude.....	29
4.1.1.3. Latitude	30
4.1.2. Pomares.....	31
4.1.2.1. Altitude	33
4.1.2.2. Longitude.....	34
4.1.2.3. Latitude	35
4.1.3. Florestas e Pomares de castanheiro comparativo	36
4.2. Análise sazonal.....	38
4.2.1. Florestas.....	38
4.2.2. Pomares.....	39
4.2.3. Florestas e Pomares de castanheiro comparativo	40
5. DISCUSSÃO.....	46
5.1. Valores de NDVI em cobertos de castanheiro	46
5.2. Análise espacial.....	47
5.3. Análise Sazonal.....	47
6. SÍNTESE E CONCLUSÃO.....	50
7. TRABALHOS FUTUROS	51
REFERÊNCIAS.....	52

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Distribuição das principais espécies do género *Castanea* no mundo . 4

Figura 2: Castanheiro europeu (*Castanea sativa*)..... 5

Figura 3: Flores masculinas (amentilhos) e femininas (ouriços)..... 6

Figura 4: Frutificação de castanheiro com visibilidade para as valvas que envolvem os frutos 7

Figura 5: Distribuição espacial das classes de castanheiros presentes na Carta de Uso e Ocupação do Solo, com enfoque para o recorte da área de estudo, situada no NE de Portugal, COS 2007 9

Figura 6: Área e produção nacional de castanha, 2009-2018 10

Figura 7: Sentinel - 2A e Sentinel - 2B 13

Figura 8: Mapa de localização da área de estudo, Nordeste de Portugal 18

Figura 9: Classificação Climática de Köppen 19

Figura 10: Altimetria de Portugal com enfoque para área de estudo 20

Figura 11: Unidades cartografadas de Solos no NE de Portugal com base na classificação da FAO/UNESCO (1988), com destaque para área de estudo. 21

Figura 12: Centroides dos polígonos representativos da área de castanheiro para a área de estudo, tendo como fonte de dados primária a COS de 2007 .. 22

Figura 13: Exemplificação do efeito de sombreamento de nuvem sobre o polígono de estudo..... 23

Figura 14: Fluxograma das estruturas e processos metodológicos 25

Figura 15: Distribuição espacial das florestas de castanheiro para área de estudo 26

Figura 16: Comportamento do NDVI em relação ao aumento da altitude nos polígonos de floresta 28

Figura 17: Comportamento do NDVI em relação a longitude no sentido Oeste-

Leste nos polígonos de floresta	29
Figura 18: Comportamento do NDVI em relação a latitude no sentido Norte-Sul nos polígonos de floresta	30
Figura 19: Distribuição espacial dos pomares de castanheiro para área de estudo	31
Figura 20: Comportamento do NDVI em relação ao aumento da altitude nos polígonos de pomares.....	33
Figura 21: Comportamento do NDVI em relação ao aumento da longitude sentido Oeste-Leste nos polígonos de pomares	34
Figura 22: Comportamento do NDVI em relação a latitude no sentido Norte-Sul nos polígonos de pomares	35
Figura 23 : Comparativo entre valores médios de NDVI para cada polígono e média do conjunto de todos os polígonos representativos tanto para as florestas quanto para os pomares de castanheiros.....	37
Figura 24: Média mensal dos NDVI dos polígonos representativos de florestas de castanheiro.....	38
Figura 25: Média mensal dos NDVI dos polígonos representativos de pomares de castanheiro.....	39
Figura 26: Gráfico do NDVI médio por períodos de dezembro de 2016 até novembro de 2021	42
Figura 27: Gráfico do NDVI médio por períodos	43
Figura 28: Média móvel dos valores de NDVI médio para cada data, de todos os polígonos de estudo (período da média móvel - 2 datas)	44

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Calendário dos estados fenológicos do castanheiro em Portugal	7
Tabela 2: Base de dados espaciais dos polígonos de floresta de castanheiros	27
Tabela 3: Base de dados espaciais dos polígonos de pomares de castanheiros	32
Tabela 4: Valores máximos e mínimos de NDVI anuais	40
Tabela 5: Anova (fator duplo sem repetição) dos valores máximos anuais de NDVI para as florestas e pomares de castanheiros	40
Tabela 6: Anova (fator duplo sem repetição) dos valores mínimos anuais de NDVI para as florestas e pomares de castanheiros.....	41
Tabela 7: NDVI médio por períodos	41
Tabela 8: Anova (fator duplo com repetição) dos valores de NDVI médio po períodos	43
Tabela 9: Anova (fator único) da média dos grupos de polígonos de florestas e pomares de castanheiros	45

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

CE	Comissão europeia
COS	Carta de uso e ocupação do solo
DOP	Denominação de origem protegida
D.P.	Desvio padrão
D.R	Deteção Remota
ESA	<i>European Space Agency</i>
ESRI	<i>Environmental Systems Research Institute</i>
FAO	<i>Food and Agriculture Organization</i>
GEC	<i>Google Earth Community</i>
GMES	Monitoração global para ambiente e segurança
GML	<i>Geography Markup Language</i>
INE	Instituto nacional de estatística
KML	<i>Keyhole Markup Language</i>
LAT.	Latitude
LONG.	Longitude
N	Norte
NDVI	Índice de vegetação por diferença normalizada
NE	Nordeste
NIR	Infravermelho próximo
W	Oeste
SIG	Sistema de informação geográfica
SNAP	Plataforma de aplicação Sentinel

1. INTRODUÇÃO

O castanheiro Europeu (*Castanea sativa* Mill.) é uma espécie arbórea angiospérmica dicotiledónea, pertencente a ordem Fagales que vem desempenhando grande importância para economia Portuguesa (LOPES, 2018).

Sua cultura e cultivo é tão antiga que torna-se difícil distinguir e identificar seu início como cultura agroflorestal, porém, a primeira evidência escrita sobre a cultura do castanheiro deu-se no livro “*Historia plantarum*”, de Teofrasto, do século III a.C. Sabe-se que é uma espécie cultivada há milénios, cuja cultura foi introduzida na Europa pelos Romanos, dessa forma sua distribuição atual depende de milénios de atividade humana (PAIVA, 1990; COSTA 2020).

Mesmo com sua grande importância económica, não há dados que informem ao certo qual a extensão de áreas de castanheiro e qual a sua localização. Existem disponíveis apenas estimativas de que existam cerca de 2.25 milhões de hectares de áreas de com castanheiros na europa, destes 1,78 milhões de hectares (79,0%) cultivados para madeira e 0,43 milhões de hectares (19,3 %) para a produção de frutos, os restantes 0,04 milhões de hectares (1,7 %) foram classificados como estruturas irregulares ou sem qualquer indicação (CONEDERA et al. 2004). Já os dados estatísticos disponibilizados pela FAO de 2018, informam que existem cerca de 120 mil hectares de castanheiros aptos a produção de castanha na Europa.

Vinculada a essa conceção, a produção das castanhas portuguesas representa um fator produtivo crucial para a economia regional, especialmente na região do Trás-os-Montes, no Nordeste de Portugal, uma vez que esta região concentra 89% da superfície nacional de cultivo do castanheiro sendo responsável por 88% da produção nacional da castanha (INE, 2018).

Segundo o 6º Inventário Florestal Nacional, a área de castanheiro em Portugal era de cerca de 48,3 mil hectares. Dados publicados pelo INE em 2021, informam que a área de castanheiro aumentou cerca de 53,2% em relação ao Recenseamento Agrícola anterior.

As tecnologias de deteção remota (DR) estão sendo muito utilizadas na agricultura, em especial na agricultura de precisão, em aplicações relativas aos estudos de uso e cobertura do solo e de características da vegetação (BERNARDI et al. 2014). Sendo possível obter informações sobre: estimativa de

área plantada, produção agrícola, vigor vegetativo das culturas, monitoração de uma área agrícola durante seu ciclo de crescimento e desenvolvimento, além de fornecer uma ferramenta para a gestão eficiente dos subsídios e para o manejo agrícola em nível de país, estado, município ou ainda em nível de exploração agrícola ou parcela, limitando os gastos de saída de campo (RUDORF et al. 2002).

A disponibilidade de dados de satélites da Terra tem-se intensificado nos últimos anos, e novas oportunidades de monitoração terrestre têm sido geradas, relacionadas principalmente com o avanço tecnológico, em especial com o lançamento recente de vários satélites, do programa espacial europeu Sentinel, como os satélites da constelação Sentinel-1, Sentinel-2, Sentinel-3 e Sentinel-5 (NEVES et al. 2019).

Diante do exposto, esta dissertação tem como principal objetivo, analisar e avaliar a distribuição da cobertura vegetal do castanheiro (*Castanea sativa* Mill.) na região Nordeste (NE) de Portugal utilizando imagens do Satélite Sentinel 2, designadamente nas bandas espectrais que permitem o cálculo do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI). A análise cobriu as datas de 31 de outubro de 2016 até 31 de outubro de 2021, indo ao encontro do segundo objetivo do trabalho, que é o de avaliar as variações temporais desse índice em áreas de castanheiro, tanto as sazonais quanto as interanuais.

Esta dissertação encontra-se dividida em seis capítulos. O capítulo I, faz-se uma introdução a temática abordada. No capítulo II encontra-se a revisão bibliográfica, que fundamenta o estudo. A mesma abrange uma breve definição sobre o biótipo dos castanheiros, suas características e importâncias locais. Em outro tópico tem-se os conceitos sobre os assuntos relacionados à deteção remota e ferramentas de análises de imagens de satélite que foram utilizadas nessa dissertação.

O capítulo III traz o material e métodos utilizados para a elucidação dos objetivos. Tem-se a contextualização da área de estudo com os aspetos importantes para a sua compreensão, como clima, geomorfologia e solos. Em outro tópico apresentam-se os procedimentos metodológicos aplicados.

No capítulo IV apresenta-se os resultados obtido, também apresentados em forma de: figuras, gráficos e tabelas, e a posteriori, no capítulo V sua respetiva discussão e comparativos com a bibliografia existente para a temática.

No capítulo IV apresentam-se os resultados obtido, também apresentados em forma de: figuras, gráficos e tabelas, e posteriori, no capítulo V sua respectiva discussão e comparativos com a bibliografia existente para a temática.

No capítulo VI são apresentadas as sínteses e conclusões deste estudo, e por último no capítulo VII são apresentadas as sugestões para trabalhos futuros seguida da lista das referências bibliográficas na qual este estudo se baseou.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. O Castanheiro

2.1.1. Castanheiro no mundo

Segundo Patrício et al. (2009), o género *Castanea* surgiu na Era Mesozoica no continente asiático e posteriormente migrou para outros continentes, América do Norte e Europa respetivamente (Figura 1), originando um processo de especiação natural que daria lugar às distintas espécies com suas particularidades ecológicas e adaptações bioclimáticas.

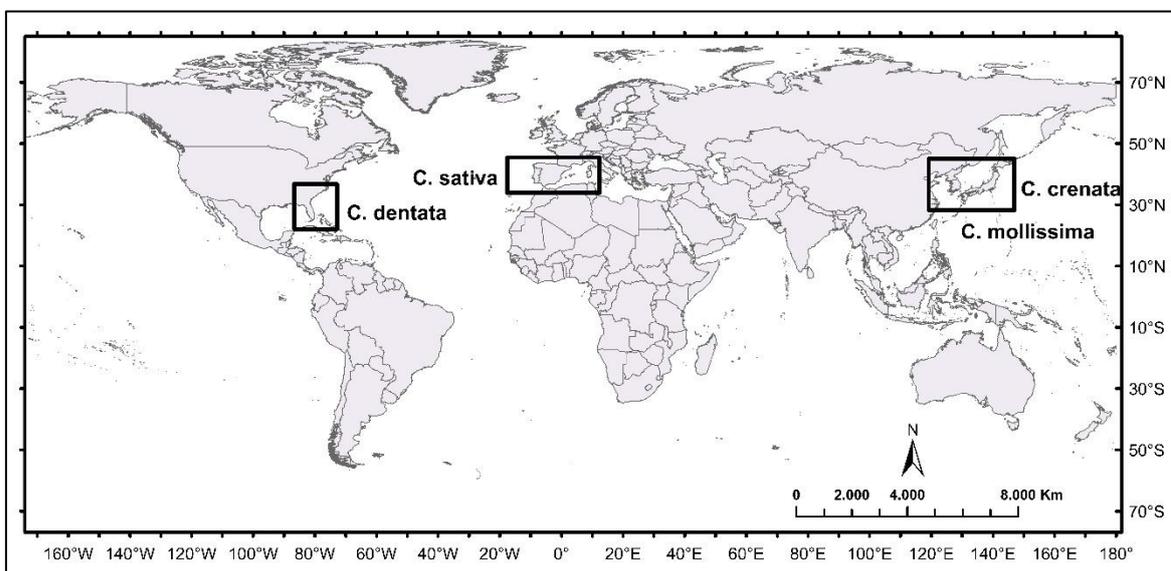


Figura 1: Distribuição das principais espécies do género *Castanea* no mundo
 Fonte: Adaptado de Gomes-Laranjo, 2017

Nesse sentido, Gomes-Laranjo et al. (2007), diz que se conhecem treze espécies de castanheiros em todo o mundo, onde o castanheiro europeu é o *Castanea sativa* Mill., que foi em 1768, pelo botânico inglês Phillip Miller, incluído no género *Castanea*. Depois tem-se cinco espécies de castanheiros de origem asiática (*Castanea henryi* Rehder e Wilson, *Castanea molissima* Blume, *Castanea crenata* Sieb e Zucc., *Castanea seguinii* Dode e *Castanea davidii* Dode) e sete de origem americana (*Castanea dentata* (Marsh.) Borkh, *Castanea pumila* Miller, *Castanea floridiana* Ashe, *Castanea paucispina* Ashe, *Castanea alnifolia* Nuttall, *Castanea ashei* Sudworth e *Castanea azarkensis*), que possuem variada diversidade de morfologia e dimensão (CARDOSO e PEREIRA, 2007).

2.1.2. Castanheiro europeu (*Castanea sativa* Mill.)

O castanheiro *Castanea sativa* Mill. (Figura 2) é uma espécie arbórea angiospérmica dicotiledônea, pertencente a ordem Fagales, família Fagaceae, gênero *Castanea* (BALTAZAR, 2015). Caracteriza-se por ser uma espécie mesófila com algumas limitações a altas temperaturas (INIAV, 2021).



Figura 2: Castanheiro europeu (*Castanea sativa*)
Fonte: Gomes-Laranjo et al. 2007

O castanheiro europeu pode ser considerado uma árvore com grande porte e longevidade, tem seu crescimento acelerado até aos oitenta anos (sendo este de aproximadamente 10 mm de diâmetro/ano, valor significativo para espécies de lenho (produtoras de madeira de alta qualidade), onde acontece o seu período de estabilização; é nesta fase que pode atingir alturas de 20, 30 metros, tendo sua copa ampla e semiesférica.

Possui raízes profundas e robustas, e seu sistema radicular se desenvolve de forma abundante e longa, tem seu sistema radicular horizontal. Adapta-se melhor em solos ligeiros, frescos e bem drenados, cujo pH não ultrapasse os 6 - 6,5 (COELHO,1999).

É uma espécie caducifólia, que possui como característica a perda de suas folhas nos meses de outono, apresenta germinação hipógea e é uma planta monoica, ou seja, existem flores masculinas e flores femininas separadas (Figura 3) na mesma planta (SOARES, 2008). A floração ocorre entre maio e junho, onde as flores masculinas ficam dispostas em amentilhos compridos e eretos, já as flores femininas ficam localizadas na base de alguns desses amentilhos (DMACN, 2011).



Figura 3: Flores masculinas (amentilhos) e femininas (ouríços)
Fonte: Gomes-Laranjo et al. 2017

Esta espécie frutifica regularmente após 20 anos, seus frutos (Figura 4) são aquênios castanho-brilhante (castanhas), agrupam-se em número de um a três, encerrados numa cúpula (primeiro verde, depois castanha), a castanha é encoberta por espinhos (ouriço), que possui quatro valvas lobadas, por onde são libertados os frutos, posterior a sua fase de maturação, entre outubro e novembro (DMACN, 2011). Na Tabela 1 tem-se as etapas do ciclo anual do castanheiro.



Figura 4: Frutificação de castanheiro com visibilidade para as valvas que envolvem os frutos

Fonte: on-centro.pt, 2017

Tabela 1: Calendário dos estados fenológicos do castanheiro em Portugal

Meses	Etapas do desenvolvimento dos Castanheiro
Janeiro	Repouso invernal
Fevereiro	Repouso invernal
Março	Abrolhamento dos gomos
Abril	Início do crescimento vegetativo
Maiο	Crescimento vegetativo
Junho	Floração masculina
Julho	Floração feminina
Agosto	Desenvolvimento do fruto
Setembro	Desenvolvimento do fruto
Outubro	Desenvolvimento do fruto
Novembro	Maturação
Dezembro	Queda das folhas/Repouso invernal

Fonte: Adaptado de Henriques, 2015.

2.1.3. Castanheiros para madeira e para fruto

Na concepção de Gomes-Laranjo et al. (2007), o castanheiro pode ser explorado tanto para a produção de fruto quanto para a produção de madeira, portando é uma árvore que possui dupla vocação. Os sistemas onde estão instalados os castanheiros essencialmente para a produção de madeira, designados por castanheiros bravos, denominam-se Castiçais, já os Soutos ou Pomares são os sistemas formados por castanheiros mansos, para a produção do fruto (FÓRUM FLORESTAL, 2016).

2.1.4. Distribuição geográfica das áreas de castanheiro em Portugal

Existem quatro “Denominações de Origem Protegida” (DOP), a nível nacional para a castanha: a castanha da Terra Fria, a castanha dos Soutos da Lapa, a castanha da Padrela e a castanha do Marvão. (FARINHA 2017). O castanheiro distribui-se maioritariamente no Norte (Nordeste) e Centro de Portugal (Figura 5) (MARTINS, 2004). Sendo concentrado em maior parte nos concelhos de Trás-os-Montes (Valpaços, Bragança e Vinhais), na Beira Interior (Trancoso, Sabugal e Guarda) e, em menor porção, no Alentejo (Castelo de Vide, Marvão e Portalegre) (COELHO, 1999).

De acordo com o Fórum Nacional (2016), as áreas ocupadas com castanheiros têm vindo a aumentar ao longo dos últimos anos, mais de 89% da área ocupada por castanheiros está concentrada na zona de Trás-os-Montes, em torno das DOP da Terra Fria e Padrela.

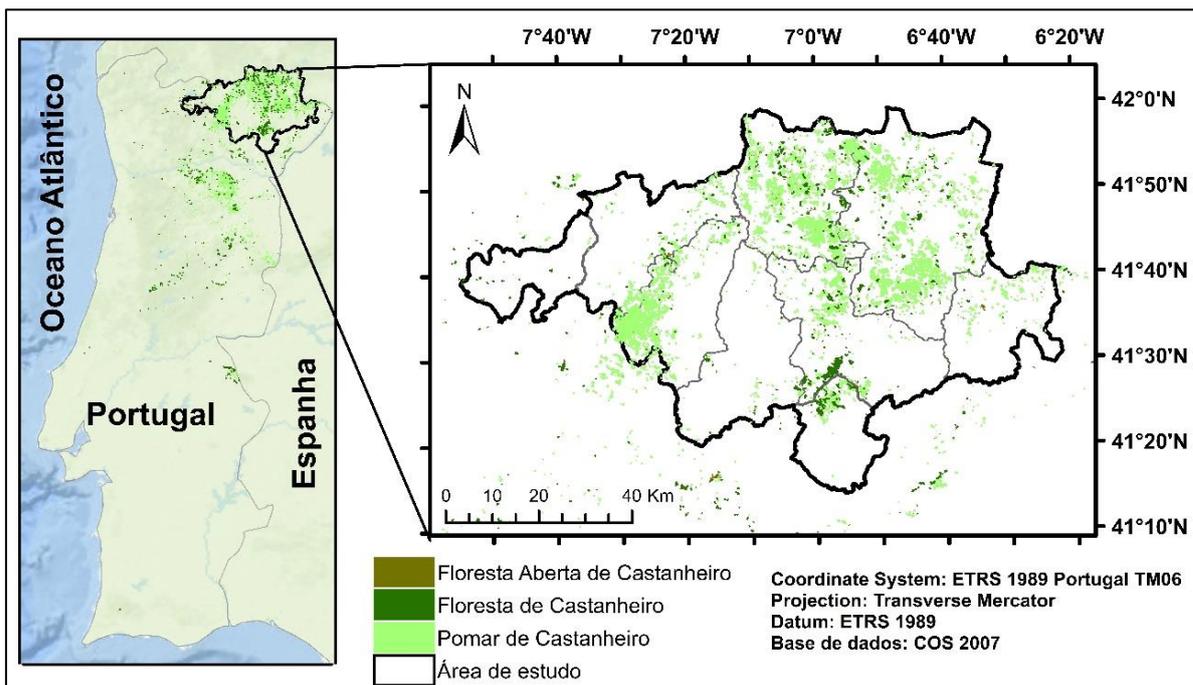


Figura 5: Distribuição espacial das classes de castanheiros presentes na Carta de Uso e Ocupação do Solo, com enfoque para o recorte da área de estudo, situada no NE de Portugal, COS 2007

Fonte: Baseado em metadados do SNIG, 2021

2.1.5. Exploração do castanheiro

Desde sempre o castanheiro vem desempenhando um papel de destaque na economia rural da população das regiões interiores de Portugal. O seu fruto era, e ainda é utilizado tanto para a alimentação humana quanto para a dos animais. Porém nos dias de hoje, o comércio da castanha tem assumido uma crescente importância econômica em Portugal, principalmente como fonte de rendimento para essas populações rurais (LOPES, 2018).

Corroborando o já afirmado, Portugal é um dos principais produtores mundiais de castanha e esta produção é crucial para a economia regional. Uma vez que a região de Trás-os-Montes concentra a maior distribuição de sotos é também a região que possui maior produção (Figura 6) (CABO et al. 2019).

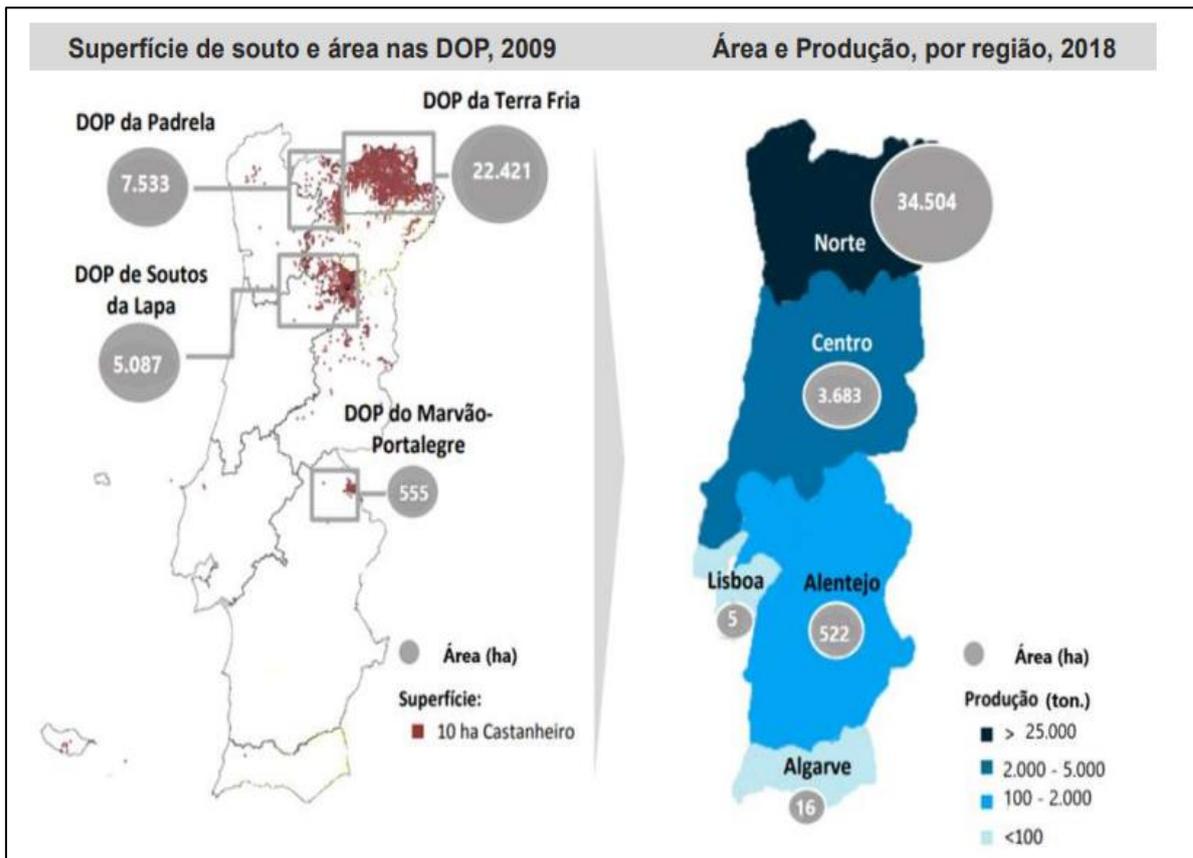


Figura 6: Área e produção nacional de castanha, 2009-2018
 Fonte: Cabo et al. 2019

2.2. Detecção Remota

2.2.1. Conceitos gerais

O processo de obtenção de imagens da superfície terrestre por meio de imagens de satélite é designado por detecção remota (GUEDES e DA SILVA, 2018).

Já para a Agência Espacial Europeia (ESA), detecção remota é uma forma de obter informações acerca de algo utilizando-se de equipamentos que não estejam em contato direto com o objeto de estudo.

Para Silva (2015), detecção remota define-se como um conjunto de procedimentos destinados à obtenção de imagens mediante coleta de radiação eletromagnética, podendo ser refletida ou emitida pela superfície terrestre.

No entanto, Paranhos Filho et al. (2021) enfatiza que muitas vezes a designação “detecção remota” é aplicada de forma errônea, em especial quando se fala exclusivamente de imagens da superfície terrestre, já que o termo é referente a qualquer método empregado para coleta de dados à distância por dispositivos de registro.

De acordo com vários estudiosos e, fundamentado por Wojtowicz et al. (2015), a detecção remota divide-se em três categorias, conforme a forma de obtenção de dados, sendo elas por: satélite, meios aéreos ou por meio terrestre. Ainda, segundo o mesmo autor, devem ser levados em conta dois critérios: as resoluções espaciais e espectrais. A primeira, está relacionada ao tamanho do pixel da imagem. Já a resolução espectral diz respeito às bandas espectrais na qual o sensor pode registrar a radiação refletida (MARQUES, 2018).

Os satélites dedicados à avaliação e monitoração de recursos naturais, são dotados de sensores que operam em diferentes faixas do espectro eletromagnético, portanto coletam a informação através da radiação refletida em forma multiespectral ou hiper espectral. Além disso, eles passam com frequência estabelecida em determinado ponto da superfície, fornecendo assim dados periódicos do local possibilitando a sua monitoração sazonal (RUDORFF et al. 2002).

Com os avanços nos setores tecnológicos e científicos, tem-se aumentado cada vez mais a quantidade e a qualidade de dados referentes aos fenômenos e processos da superfície terrestre (GUEDES e DA SILVA, 2018). É necessário a utilização de softwares, em especial os sistemas de informação geográficas (SIGs), para o tratamento desses dados, face à quantidade de informação recolhida é essencial a aplicação de programas computacionais específicos para que a análise e tratamento dos dados ocorra de maneira rápida e confiável. Nota-se assim a importância da tecnologia para este meio (TULLIO, 2018).

2.2.2. Programa de satélites: Sentinel-2

Em uma iniciativa conjunta da Comissão Europeia (CE) e da Agência Espacial Europeia (ESA), criou-se o projeto de monitoração Global para o Ambiente e Segurança (GMES), este projeto visa estabelecer uma capacidade europeia para o fornecimento e utilização de informação de monitoração operacional para aplicações ambientais e de segurança (DRUSCH et al. 2012).

Ao longo do tempo tem-se usado imagens provenientes de satélites para estudos e monitoração ambiental, porém estes estudos eram dificultados devido às baixas resoluções espectrais, espaciais e temporais. Com os avanços tecnológicos e lançamento de novos satélites, como o Sentinel-2, cuja resolução espectral é de 13 bandas e a espacial é de 10 m e temporal de 5 dias essas dificuldades têm sido contornadas com a melhoria da qualidade de dados disponíveis (MARQUES, 2018).

Com o objetivo de observar a superfície terrestre e de auxiliar análises para serviços como alterações na cobertura da superfície terrestre, gestão de desastres naturais e monitoração das florestas, foram desenvolvidos pela Agência Espacial Europeia (ESA), integrados no Programa Copernicus, de monitoração ambiental, os satélites Sentinel-2A e 2B (Figura 7) (MARQUES, 2018).

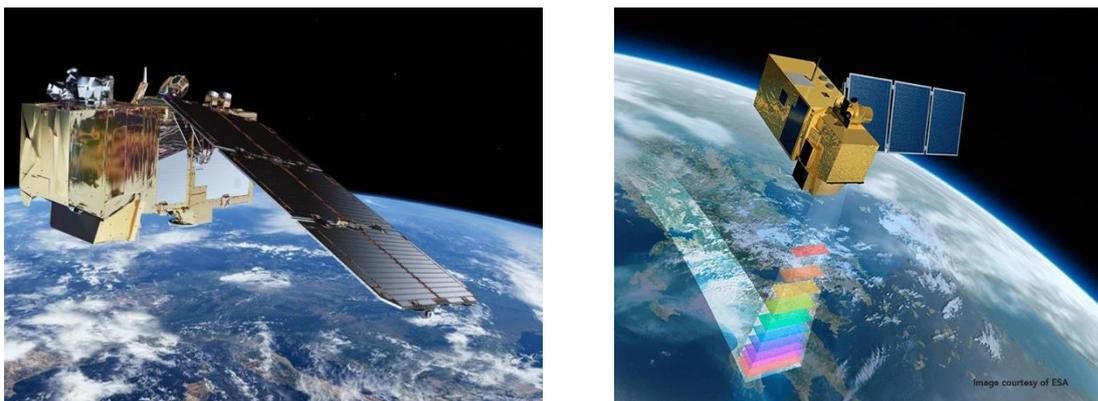


Figura 7: Sentinel - 2A e Sentinel - 2B
Fonte: Agência Espacial Europeia,2021

O satélite Sentinel-2A foi lançado em 23 de junho de 2015, a partir do Porto Espacial Europeu na Guiana Francesa, é o segundo satélite em órbita do programa europeu Copernicus, de monitoração ambiental. Já o Sentinel-2B foi lançado em 7 março de 2017 também a partir do Porto Espacial Europeu na Guiana Francesa.

“Embora lançados separadamente, os satélites são colocados na mesma órbita, separados por 180°. A cada cinco dias, os satélites cobrem em conjunto todas as superfícies terrestres, grandes ilhas e águas interiores e costeiras entre as latitudes 84°S e 84°N, otimizando a cobertura global e a entrega de dados” (ESA, 2017).

2.2.3. Assinatura espectral

Uma vez que todos os tipos de cobertura do solo, como afloramentos rochosos, espécies e cultivares de culturas, florestas, corpos d'água, absorvem uma quantidade específica da radiação eletromagnética que chega à superfície, dependendo de sua composição física e química, pode se dizer que possuem uma espécie de “assinatura espectral” (PARANHOS FILHO et al. 2021). Usa-se este termo devido a resposta espectral particular que cada tipo de cobertura de solo possui, que os distingue dos demais tipos de cobertura. O mesmo ocorre para a vegetação, sendo possível diferenciar as espécies, no entanto o comportamento espectral da vegetação modifica-se ao longo do ano, uma vez que a vegetação sofre variações ao longo do seu ciclo vegetativo.

A assinatura espectral da vegetação está ligada a variáveis morfológicas e funcionais, que afetam tanto os pigmentos fotossintéticos das folhas como a morfologia da planta, pois eles têm a resposta da vegetação na região espectral do visível, mas também no infravermelho próximo ou infravermelho médio (RODRIGUES, 1999).

2.2.4. Índice de vegetação NVDI

Os índices de vegetação são baseados nas diferenças que a vegetação apresenta em relação à refletividade nas regiões do visível e do infravermelho. A maneira como ocorre a interação entre a radiação eletromagnética e a vegetação determina o índice (FONSECA & FERNANDES, 2004).

O Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) é um dos índices de vegetação mais utilizados a nível mundial, principalmente em trabalhos de monitoração da vegetação e suas modificações ao longo do tempo, isto se deve ao fato de a refletância nas bandas espectrais acompanharem as mudanças sazonais na vegetação. As áreas que possuem vegetação, devido às elevadas reflectâncias no NIR (infravermelho próximo) e baixa refletância no visível (na banda de vermelho a 650 nm), apresentam valores elevados (FEIO, 2017).

E, completando seu estudo, o autor ainda reforça que além da utilização do NDVI compensar as mudanças das condições de iluminação, compensam também as mudanças do declive do terreno e exposição.

O NDVI é calculado a partir da subtração da banda referente ao infravermelho próximo (NIR) e a banda do vermelho (VIS), dividido pela soma delas.

A equação 1 representa o cálculo do NDVI.

$$\text{NDVI} = (P_{\text{IVP}} - P_{\text{V}}) / (P_{\text{IVP}} + P_{\text{V}}) \quad (1)$$

Onde:

P_{IVP} - Banda do NIR.

P_{V} - Banda do VIS.

A utilização do índice NDVI como ferramenta para a monitoração da vegetação tem sido amplamente explorado em diferentes abordagens, em especial estudos de culturas agrícolas florestais e vegetação e de estudos climáticos, uma vez que permite construir perfis sazonal e temporal da vegetação, fato este que, viabiliza a comparações interanuais (GUEDES e DA SILVA, 2018).

2.3. Software de tratamento e representação espacial de informação remota

2.3.1. Sentinel Application Platform (SNAP)

Para o tratamento das imagens orbitais da constelação Sentinel, a ESA desenvolveu o SIG Sentinel Application Platform (SNAP). Detalhes sobre o SNAP estão disponíveis em <http://step.esa.int/main/toolboxes/snap/>.

“Esse SIG conta com ferramentas para trabalhar com imagens disponibilizadas pela constelação de satélites Sentinel de forma mais automática, pois são programadas para trabalhar com bandas do Sentinel-2 e trazem resultados bastante satisfatórios tanto para os índices vegetativos quanto para os parâmetros biofísicos” (DAL COLLETTO et al. 2020).

2.3.2. ArcGIS

“O ArcGIS é um conjunto integrado de softwares de Sistema de Informação Geográfica produzido pela empresa americana ESRI (Environmental Systems Research Institute), que fornece ferramentas baseadas em padrões para realização de análise espacial, armazenamento, manipulação, processamento de dados geográficos e mapeamento” (SILVA & MACHADO, 2010).

O ArcGis possibilita e fornece ferramentas de transformação de dados que possibilitam a sua utilização e visualização no software Google Earth. O ArcGis possui duas estruturas básicas de tratamento de dados: ArcCatalog e ArcMap. No ArcCatalog, pode ser manipulados e gerados dados do tipo alfanuméricos e geométricos. Já no ArcMap, que é o aplicativo específico para o geoprocessamento, onde tem-se disponível todas as funcionalidades, ferramentas e extensões de processamento de dados **(TORLAY & OSHIRO, 2010)**.

2.3.3. Google Earth

O Google Earth é um software que fornece ao usuário imagens de satélite ou fotos aéreas de todo o planeta, possibilitando a visualização de todo o planeta de forma virtual.

“Além das imagens, o aplicativo também possibilita a sobreposição de camadas de um Sistema de Informações Geográficas (SIG) que podem conter dados matriciais ou vetoriais, como unidades territoriais, pontos de interesse, ruas e imagens. Essas informações podem ser adicionadas pelo próprio usuário e disponibilizadas na internet por meio da Google Earth Community (GEC), o que possibilita a criação de uma forma de mapeamento comunitário. Tanto os dados alfanuméricos quanto os dados geométricos e as imagens são acessados sob demanda nos servidores do software. Isto é, as informações são armazenadas, em parte, por meio do cache no computador do usuário e no servidor. Tal sistema tem a vantagem de reduzir o espaço em disco utilizado na instalação do aplicativo, porém requer uma conexão permanente com a internet. Todos esses dados estão fundamentados em uma variante da Geography

Markup Language (GML), a Keyhole Markup Language (KML)” (TORLAY & OSHIRO, 2010).

Os autores ainda afirmam que: “O *Google Earth* tem adquirido popularidade entre os usuários e pessoas das áreas de geotecnologias. A integração do dispositivo com outros SIGs tem possibilitado o seu uso para o planejamento territorial”.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Localização da área de estudo

A área de estudo é a faixa norte do Nordeste (NE) Transmontano, ou NE de Portugal, cujos limites estão definidos na Carta de Solos do Nordeste de Portugal (AGROCONSULTORES E COBA, 1991). A área de estudo engloba os Concelhos (Municípios) com a maior concentração de castanheiros, sendo eles: Bragança, Vimioso, Alfandega da fé, Macedo Cavaleiros, Vinhais, Mirandela, Valpaços, Chaves e Boticais (Figura 8), com uma extensão aproximada de 546.816 hectares.

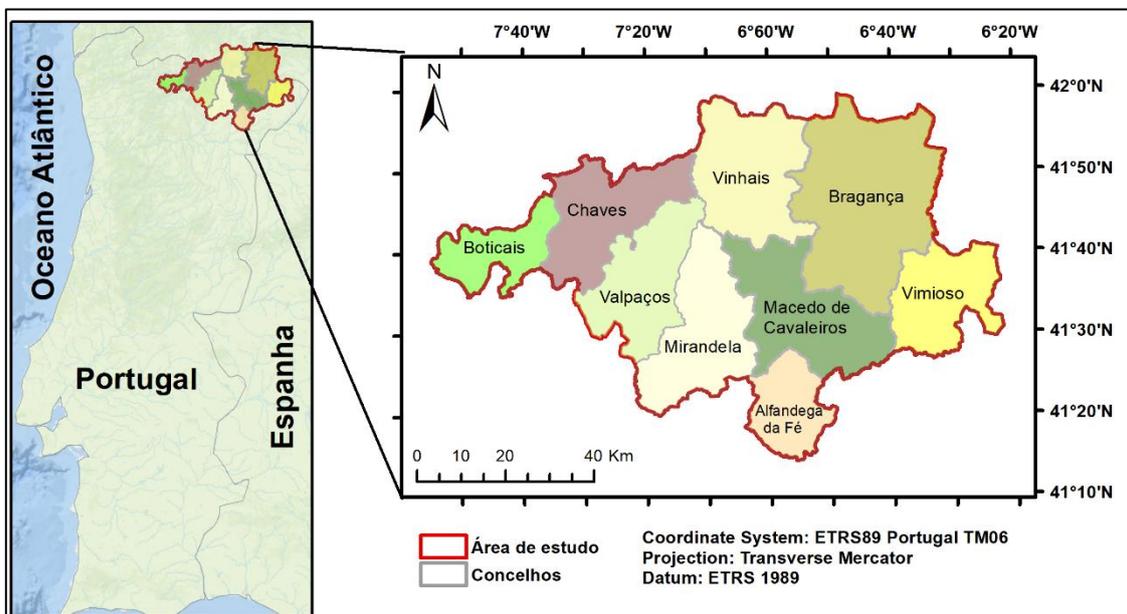


Figura 8: Mapa de localização da área de estudo, Nordeste de Portugal
 Fonte: Baseado em metadados do SNIG, 2021

3.2. Caracterização da área de estudo

3.2.1. Clima

Conforme classificação de Köppen-Geiger (Figura 9), o clima da região de Trás-os-Montes está sob influência de duas categorias. O clima é temperado ou mesotérmico do tipo C, com as estações de verão e inverno bem definidas, pertencendo ao subtipo Cs, clima temperado com chuvas no inverno e verão

seco, variando entre as categorias Csa e Csb, onde o Csa é caracterizado por clima temperado com verão quente e seco, cuja temperatura média do ar no mês mais quente supera os 22°C. Já o Csb caracteriza-se por clima temperado com verão seco e suave, cuja temperatura média do ar no mês mais quente é inferior a 22°C e temperaturas médias do ar nos quatro meses mais quentes é maior que 10°C (CHAZARRA, 2011).

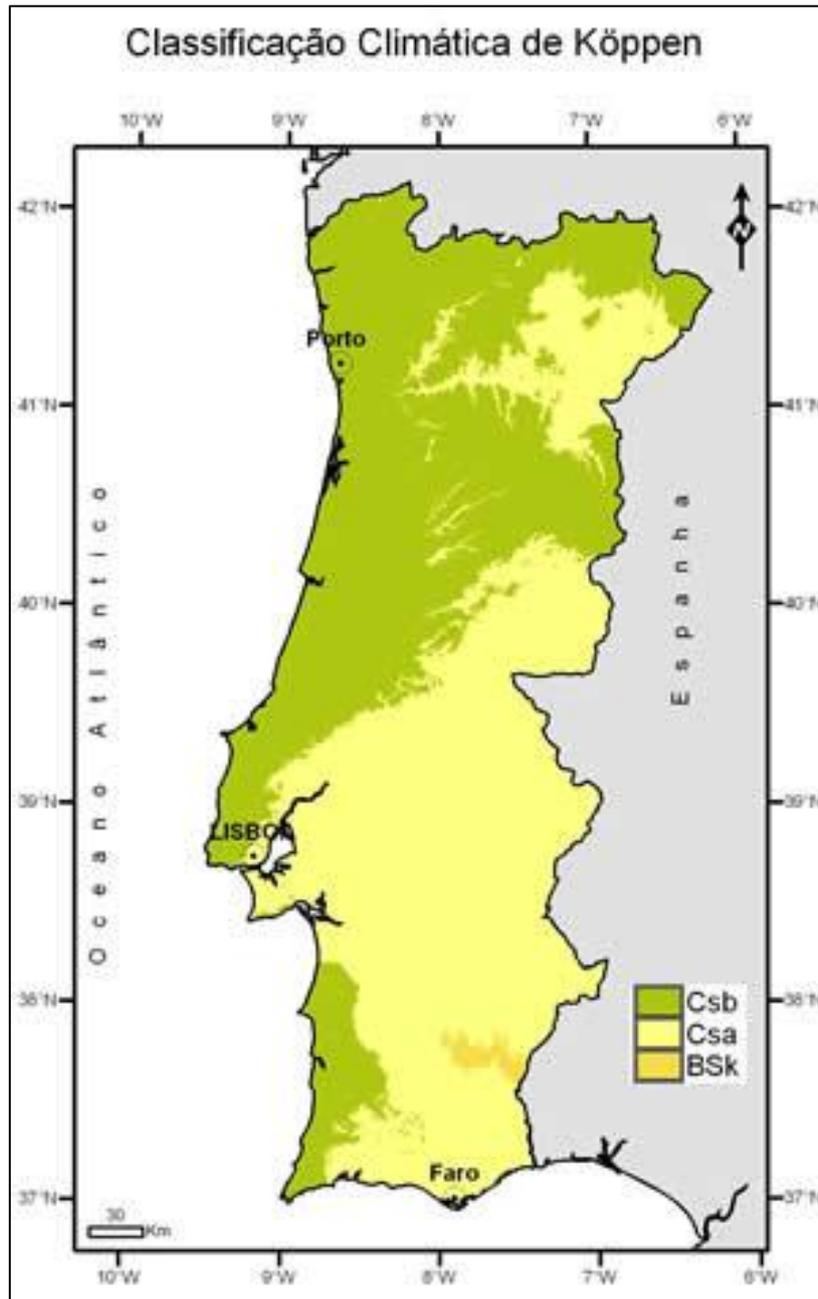


Figura 9: Classificação Climática de Köppen
Fonte: IPMA, 2021.

3.2.2. Geomorfologia

Sob o ponto de vista geomorfológico, a área de estudo situa-se no Maciço Ibérico na Meseta Norte, formada por planaltos e montanhas. Constituiu-se basicamente em idades entre a Proterozoica Superior e a Devónico, por rochas graníticas hercínicas e em fácies metassedimentares variadas. Seu relevo residual é essencialmente quartzítico e granítico (PEREIRA et al. 2014). Pode ser caracterizada por Blocos com diversas cotas, porém a área de estudo situa-se, praticamente toda, entre as altitudes de 400 a 1000m (Figura 10).

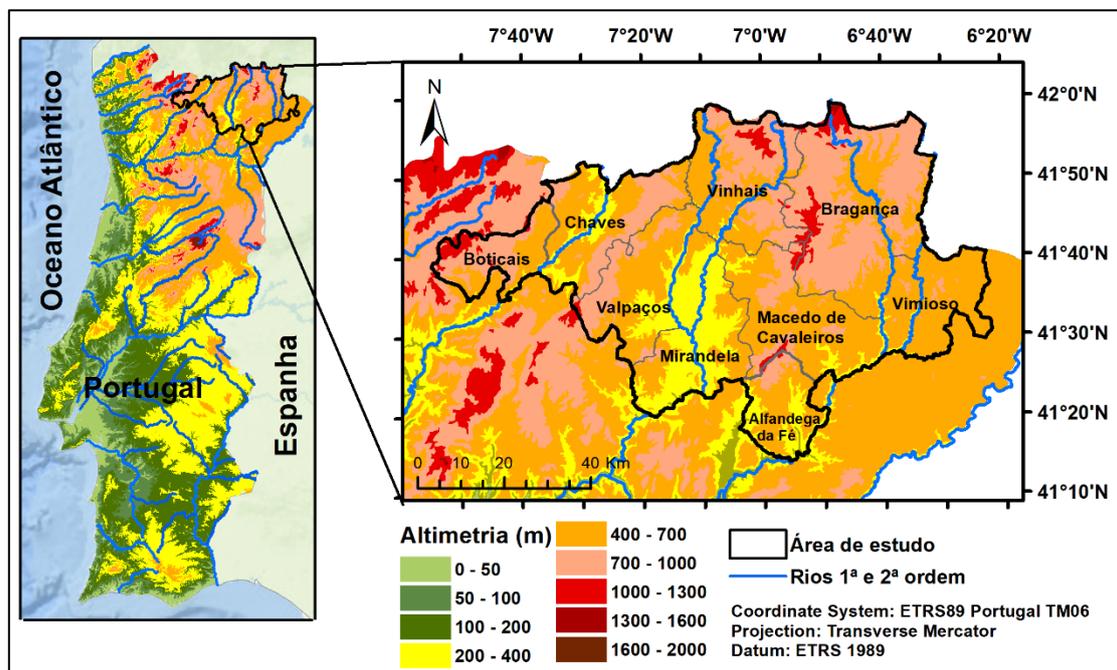


Figura 10: Altimetria de Portugal com enfoque para área de estudo
Fonte: Baseado em metadados do SNIG, 2021

3.2.3. Solo

Em relação ao solo, a classe predominante na região Nordeste de Portugal, é representada pelos Leptossolos, a área de estudo é composta por 89% de Leptossolo, conforme observado na figura 11. Os Leptossolos são solos incipientes, cujas principais características são a elevada pedregosidade e baixa profundidade, limitada pela rocha-mãe a menos de 50 cm (FIGUEIREDO, 2013).

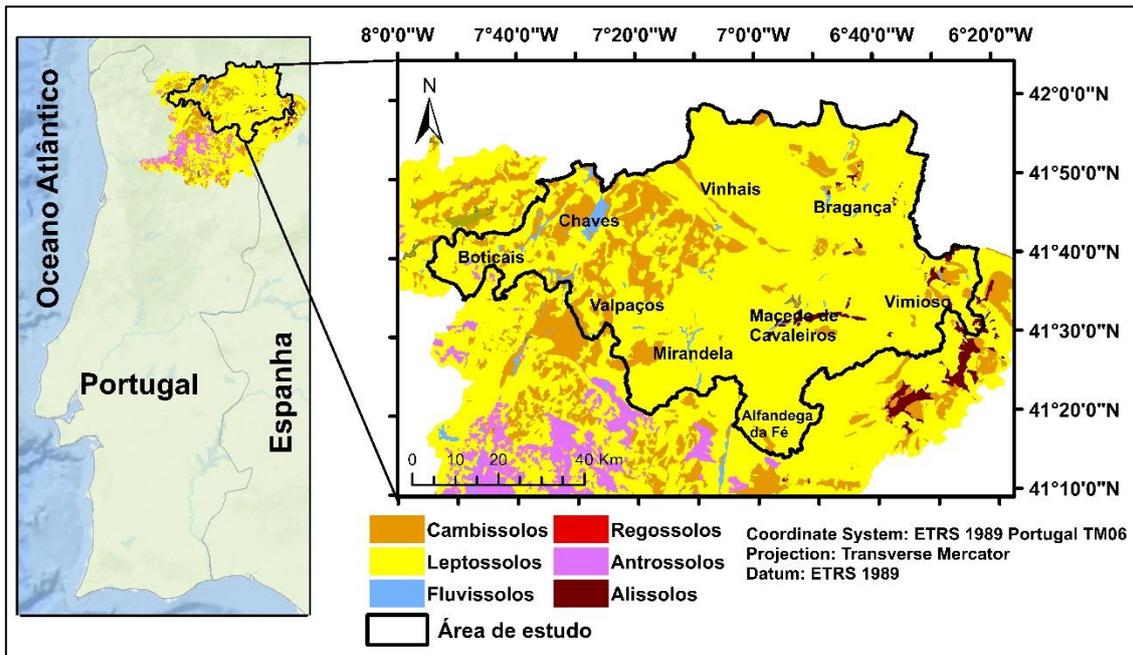


Figura 11: Unidades cartografadas de Solos no NE de Portugal com base na classificação da FAO/UNESCO (1988), com destaque para área de estudo.
 Fonte: Adaptado de Figueiredo, 2013

3.3. Estrutura e processos metodológicos

Para aquisição de imagens do satélite Sentinel-2 foi utilizado o portal Sentinel Hub, especificamente a plataforma EO Browser, que possui o aporte de dados e informações da ESA (*European Space Agency*).

Realizou-se a pesquisa de imagens para os últimos cinco anos, entre as datas de 31 de outubro de 2016 até 31 de outubro de 2021.

Primeiramente, com base na classificação da COS de 2007 limitou-se os polígonos que expressassem as áreas de castanheiros para a área de estudo, sendo eles de “Florestas de castanheiros” e “Pomares”.

Posteriormente, selecionou-se ao menos um polígono representativo (polígono amostral) da categoria “Floresta de Castanheiro” e um da “Pomares de Castanheiro” para cada Concelho pertencente a área de estudo. Como critério de seleção organizaram-se os polígonos por tamanho de área, estes foram espacializados no ArcMap para se realizar a conversão de formato para um formato compatível com o Google Earth, onde foi feita a conferência desses polígonos no que diz respeito a se realmente se tratavam de áreas de castanheiro, e posteriormente, foram analisados aspetos que pudessem ocasionar interferências nas representações da vegetação de castanheiros,

como: estradas, construções, ocorrência de muito solo exposto, presença de rio ou lagos.

Após essas análises, definiu-se, de facto, os polígonos representativos para a área de estudo. Foram selecionados onze polígonos da categoria “Floresta de castanheiro” e onze polígonos da categoria “Pomar de Castanheiro” (Figura 12).

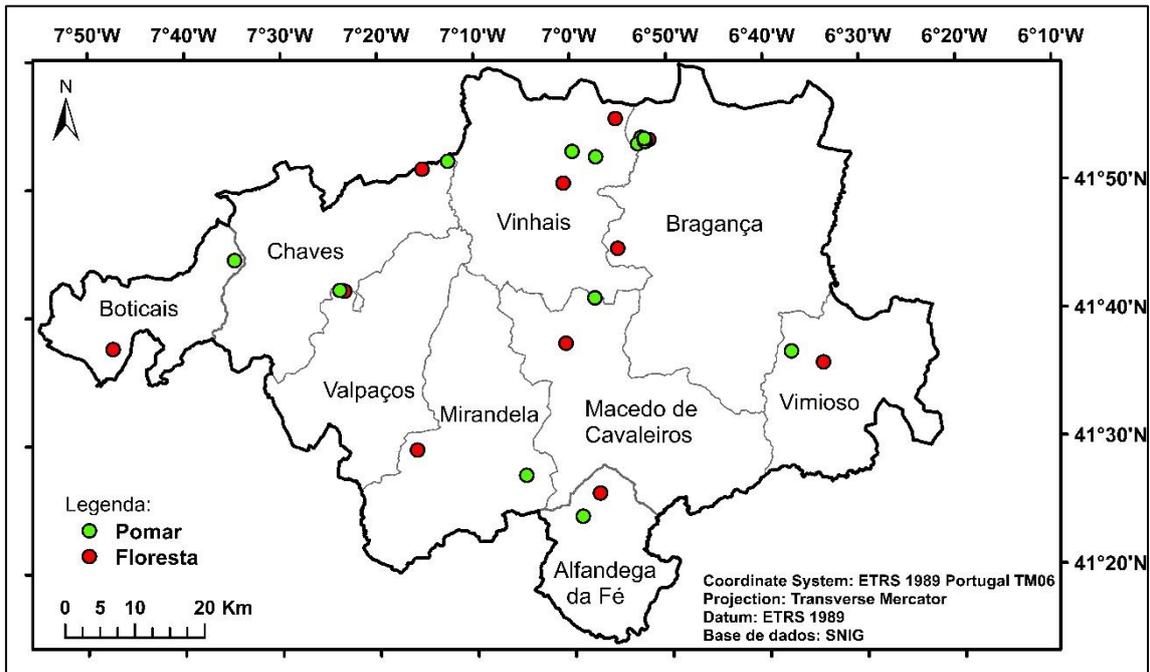


Figura 12: Centroides dos polígonos representativos da área de castanheiro para a área de estudo, tendo como fonte de dados primária a COS de 2007
 Fonte: Baseado em metadados do SNIG, 2021

O passo seguinte realizado foi a busca de imagens dos últimos cinco anos para os 24 polígonos de estudos, na plataforma EO Browser. Inseriu-se os polígonos um a um, como critério de filtro de seleção utilizou-se apenas o satélite Sentinel-2 com a qualidade de nível de informação 1C e cobertura de nuvem igual a zero.

Posteriormente, na mesma plataforma realizou-se o cálculo do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI), e fez-se o download desses dados em forma de tabelas e imagens.

Como tomada de decisão para minimizar imprecisões de representação de dados, e para se ter um conjunto de dados adequado para as séries temporais, as imagens foram visualizadas uma a uma, de forma a selecionar

apenas aquelas que não foram afetadas pela presença de nuvens ou neve, uma vez que mesmo sendo selecionada cobertura de nuvens igual a zero, e esta não estando sobre a área de estudo, a nuvem ainda pode causar interferência nos dados, já que há possibilidade de ocasionar o fenômeno de sombreamento. Ao se deparar com esta situação, descartou-se os dados da imagem representativa deste fenômeno. Este fenômeno pode ser visível na Figura 13, onde mesmo a nuvem não estando na área de estudo seu sombreamento afetou a absorção de luz e interferiu no cálculo NDVI.

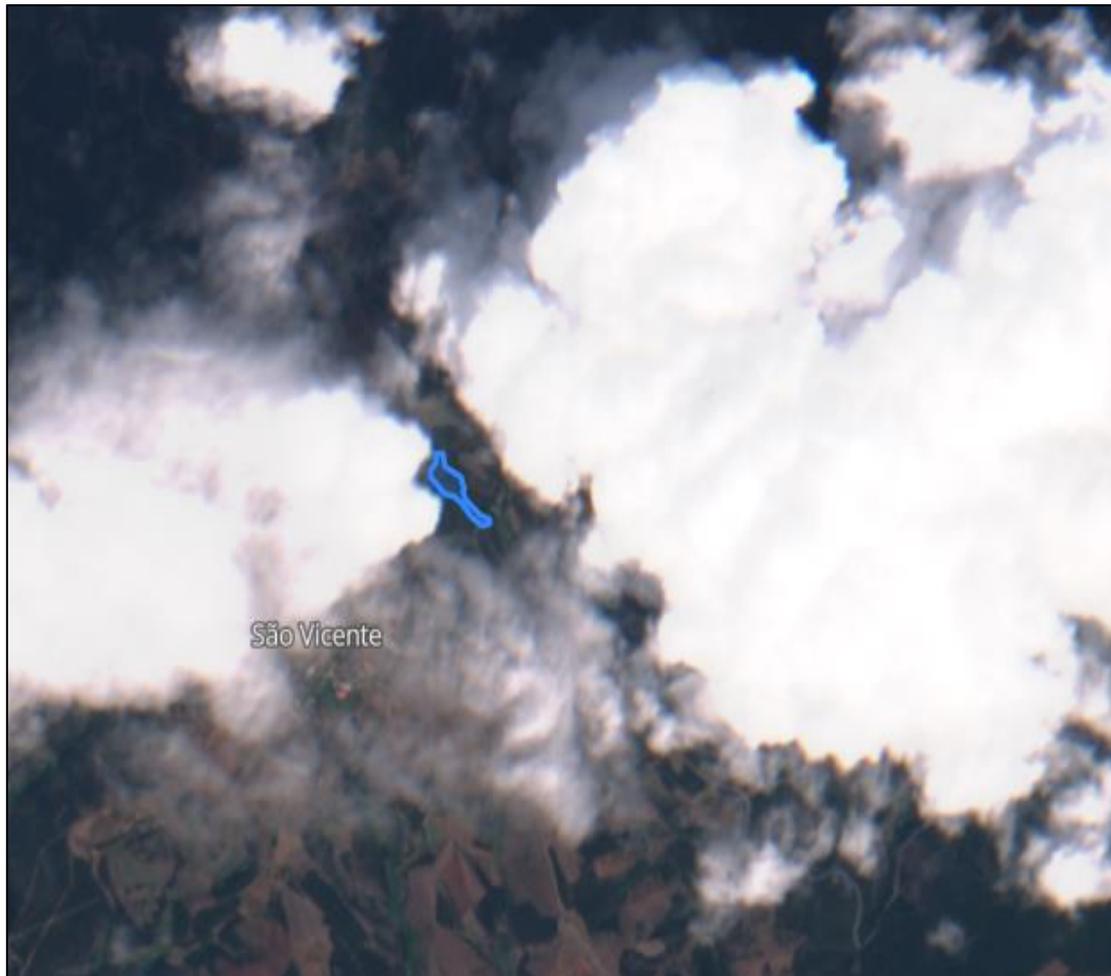


Figura 13: Exemplificação do efeito de sombreamento de nuvem sobre o polígono de estudo

Fonte: Adaptado da plataforma EO Browser, Sentinel HUB 2021

Após análise e filtragem dos dados gerou-se o banco de dados, em formato compatível com o software Excel, para realizar o tratamento estatístico do mesmo, o qual detém informações referentes a 3219 imagens.

3.3.1. Tratamento estatístico

O tratamento estatístico foi elaborado no software Excel, efetuando-se cálculos como correlações, análise de variância, análise de significância, gráficos e tabelas dinâmicas.

Primeiramente reteve-se o NDVI mediano para cada data de imagens para cada polígono. Posteriormente analisou-se a série de dados dos NDVI medianos de todos os polígonos e datas, organizando os dados de forma que tivessem os valores medianos de NDVI de todos os polígonos ordenados pelas datas das imagens.

Ressalta-se que para todos os cálculos e tratamento estatístico se utilizou os valores de NDVI mediano para cada data de imagem.

Após organização do banco de dados realizou-se as comparações entre as médias dos valores de NDVI mediano dos polígonos de florestas de castanheiros com pomares de castanheiros ao nível global, mensal, anual, sazonal e por períodos de desenvolvimento ao longo do ano.

Para análise espacial, organizaram-se os dados com base na altitude, depois latitude e na longitude desses polígonos. Para tal, primeiramente gerou-se um centroide pontual para cada polígono representativo (no ArcGis), e posteriormente ordenaram-se os polígonos da maior altitude para a menor, no sentido Oeste-Leste (longitude) e Norte-Sul (latitude). Após este processo geraram-se os resultados por meio de gráficos e correlação das variáveis,

Para análise sazonal utilizou-se as datas das imagens como elemento principal, em conjunto com toda informação disponível para cada data de imagem. O período de análise foi definido com base no calendário dos estados fenológicos do castanheiro, onde de dezembro até março ocorre a queda das folhas e seu repouso invernal, e de abril até novembro ocorre o início do seu crescimento vegetativo até a sua maturação. Após este processo geraram-se os gráficos, testes de variância e teste de significância.

As estruturas e processos metodológicos aplicados encontram-se elencados no fluxograma abaixo.

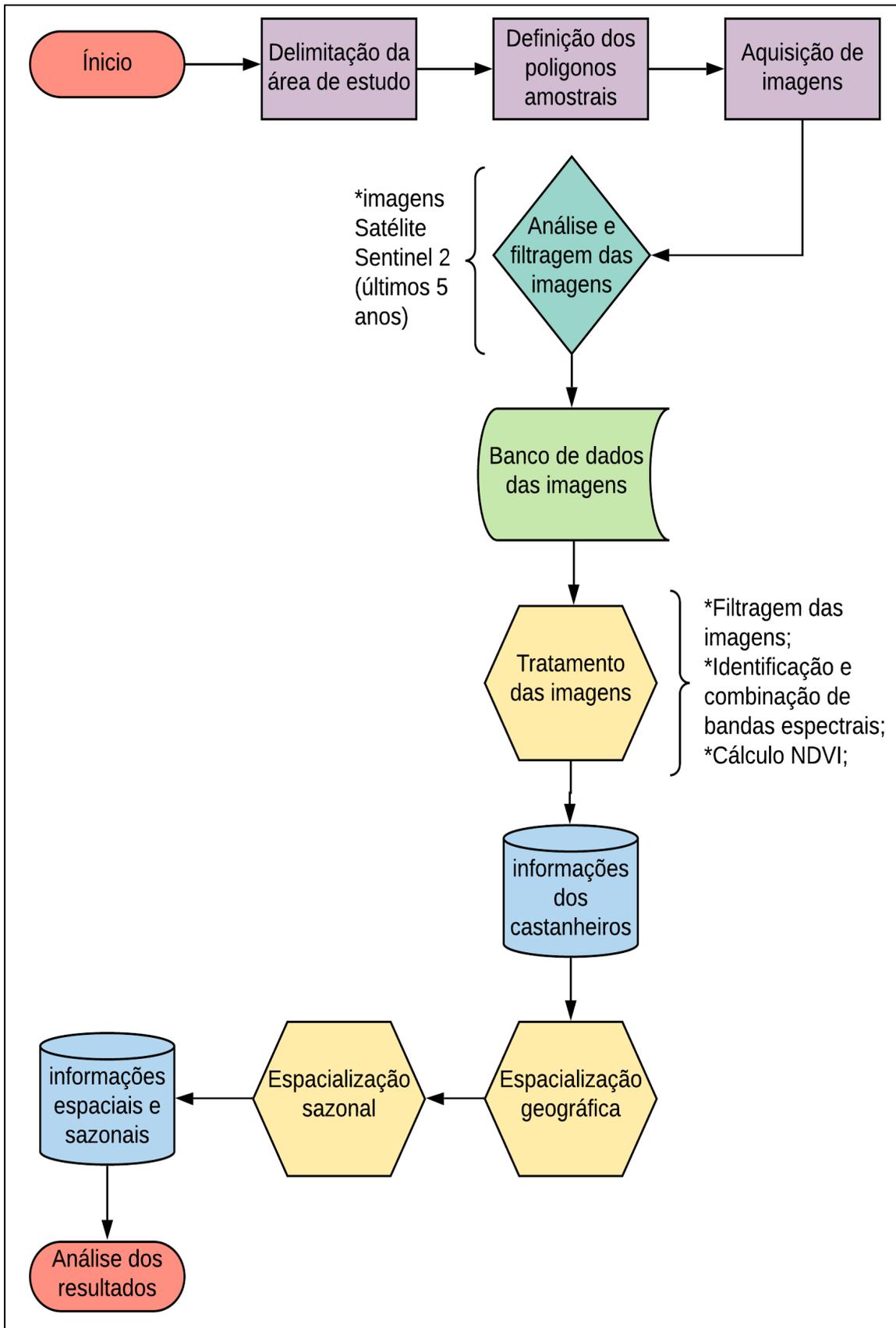


Figura 14: Fluxograma das estruturas e processos metodológicos
 Fonte: Autoria própria, 2021

4. RESULTADOS

4.1. Análise espacial

4.1.1. Florestas

Na figura 15 tem-se o gráfico de percentagem referente às áreas de floresta em cada concelho estudado.

No total, a área de estudo possui cerca de 1.425 ha de seu solo ocupados por florestas de castanheiros, sendo Vinhais e Bragança detentores de 58% dessas áreas de floresta, destes 30% estão situados em vinhais (429 ha), 28% em Bragança (394 ha), posteriormente 17% em Macedo de Cavaleiros (236 ha), 7% em Alfândega da Fé (105 ha), 6% em Chaves (84 ha), Valpaços e Mirandela com 4% (61 ha e 57 ha, respectivamente), Boticas com 3% (45 ha) e Vimioso com 1% (13 ha).

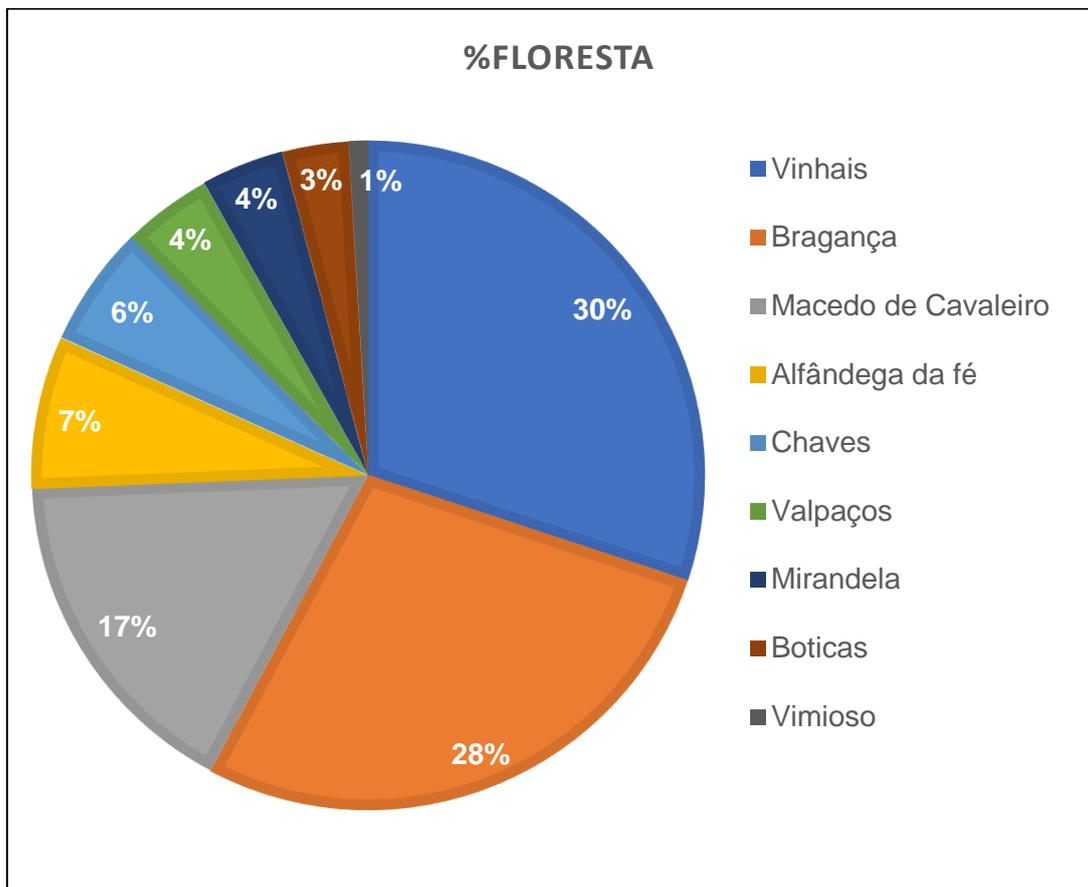


Figura 15: Distribuição espacial das florestas de castanheiro para área de estudo
 Fonte: Baseado em dados da COS 2007, 2021

Na tabela 2 tem-se a base de dados espaciais dos onze polígonos representativos para as áreas de floresta de castanheiro. O polígono de menor área é o F2 com 1,38 ha, já o de maior área é o F11 com extensão de 17,35 ha. Os polígonos situam-se entre as coordenadas geográficas: menor latitude = 41,4343 N (F1), maior latitude = 41,9212 N (F10) e menor longitude = -6,5889 W (F3) e maior longitude = -7,7904 W (F6). A altitude dos polígonos amostrais varia de 418 m (F4) à 938 m (F9), esta variação se deve ao fato de a área de estudo ser de planaltos e montanhas. O NDVI (média das medianas para o conjunto da série de cinco anos estudada) oscilou de $0,46 \pm 0,11$ (F5) até $0,69 \pm 0,11$ (F1), oscilação essa de 0,23, variação pouco expressiva, uma vez que os valores de NDVI variam de -1 a 1, ressaltando que quanto mais próximo de 1, maior é a atividade vegetativa no local.

Tabela 2: Base de dados espaciais dos polígonos de floresta de castanheiros

Polígono	Área (ha)	Lat. (N)	Long. (W)	Altitude (m)	Mediano NDVI	D.p NDVI
F1	11	41,4343	-6,9555	776	0,69	0,11
F2	1,38	41,6298	-7,0112	605	0,54	0,12
F3	2,14	41,6003	-6,5689	538	0,50	0,07
F4	4,53	41,4930	-7,2684	418	0,48	0,10
F5	1,69	41,7006	-7,3912	826	0,46	0,11
F6	3,09	41,6264	-7,7904	561	0,65	0,07
F7	1,43	41,8583	-7,2559	740	0,65	0,08
F8	1,84	41,8381	-7,0124	692	0,62	0,10
F9	4,83	41,7523	-6,9200	938	0,64	0,10
F10	2,86	41,9212	-6,9211	904	0,56	0,09
F11	17,35	41,8932	-6,8639	852	0,57	0,11

Fonte: Autoria própria, 2021

4.1.1.1. Altitude

Na figura 16 destaca-se o comportamento entre os valores de NDVI e a variável altitude desses polígonos amostrais. É perceptível que a altitude dos polígonos estudados exerce influência nos valores de NDVI médio desses mesmos polígonos até aos 820 m, a partir desse valor não há relação de NDVI-altitude. Os polígonos F5, F11, F10 e F9 que possuem menores valores de NDVI correspondem com as maiores altitudes, respetivamente.

Ao realizar-se a correlação entre as variáveis média dos medianos dos NDVI para cada polígono amostral de florestas de castanheiros e sua variável altitude obteve-se valor de $R = 0,307$, portanto não ocorre correlação estatística direta.

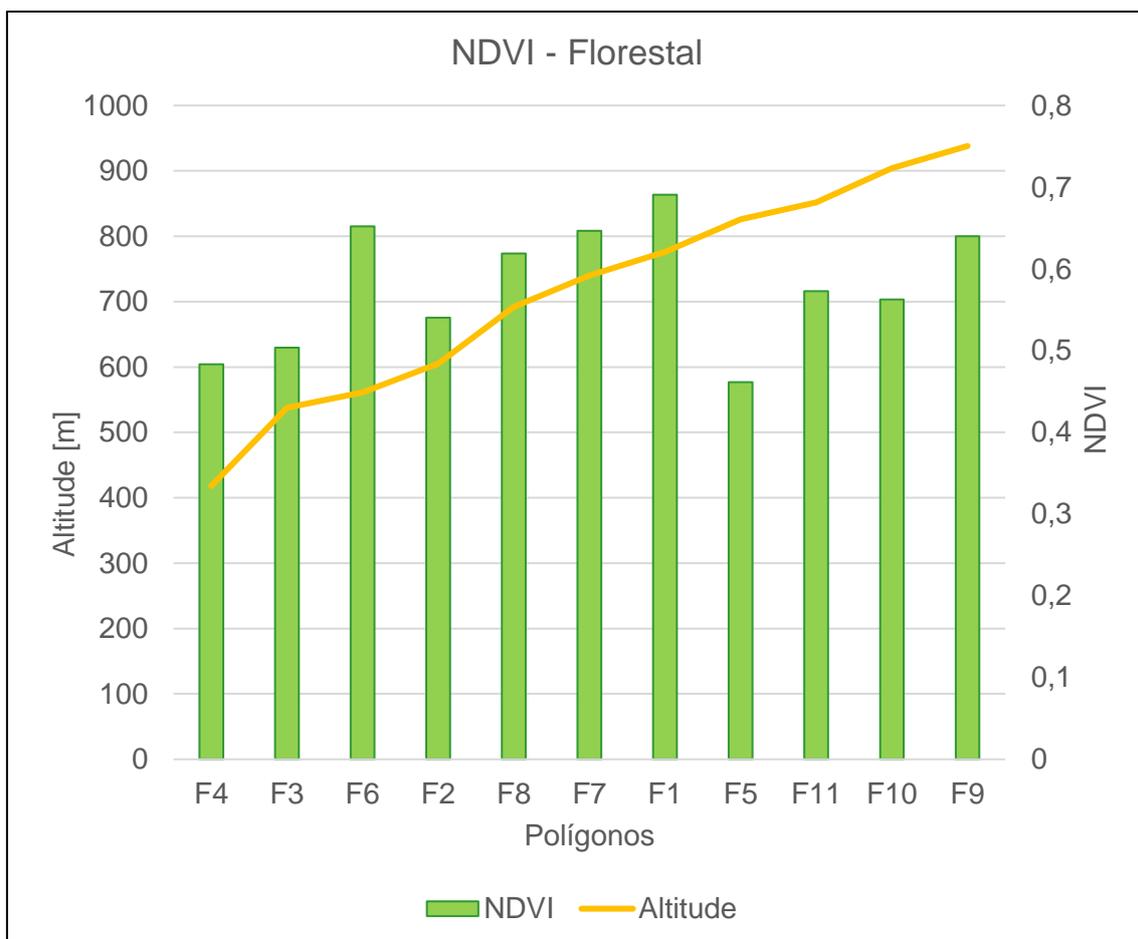


Figura 16: Comportamento do NDVI em relação ao aumento da altitude nos polígonos de floresta
 Fonte: Autoria própria, 2021

4.1.1.2. Longitude

Assim como na figura anterior, na figura 17 trata-se do comportamento entre os valores de NDVI e a distribuição longitudinal desses polígonos amostrais. Uma vez que todos os polígonos estão situados em longitude próximas, variando de -6,5689 W a -7,7904 W, não se notou mudança de comportamento para os valores de NDVI em relação à distribuição longitudinal.

Ao realizar-se a correlação entre as variáveis média dos medianos dos NDVI para cada polígono amostral de florestas de castanheiros e sua variável longitude obteve-se o valor de $R = -0,096$, portanto não ocorre correlação estatística direta.

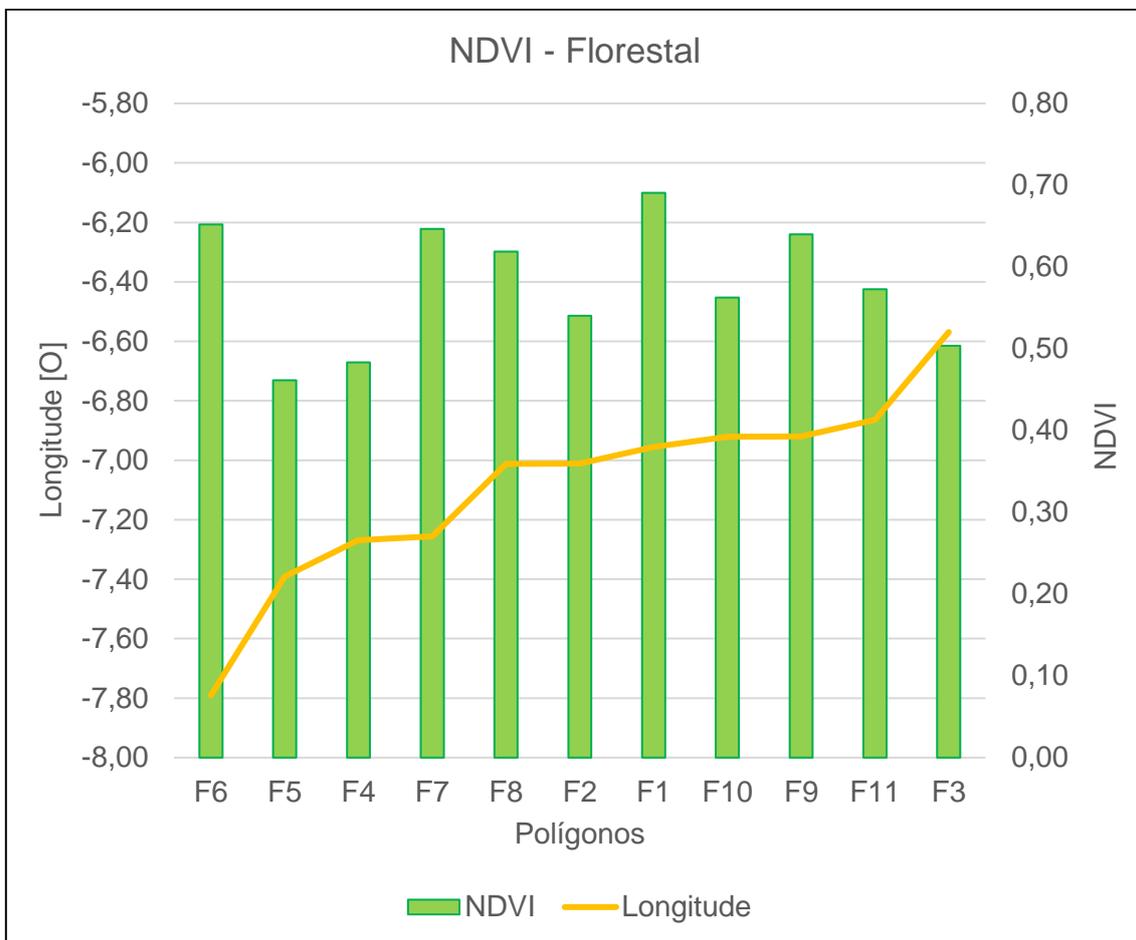


Figura 17: Comportamento do NDVI em relação a longitude no sentido Oeste-Leste nos polígonos de floresta
 Fonte: Autoria própria, 2021

4.1.1.3. Latitude

Assim como a figura anterior, na figura 18 mostra-se o comportamento entre os valores de NDVI e a localização latitudinal dos polígonos amostrais. É perceptível que para a área de estudo a latitude não ocasionou alterações nos valores de NDVI, uma vez que todos os polígonos estão situados em latitudes próximas, variando de 41,4343 N a 41,9212 N.

Ao realizar-se a correlação entre as variáveis média dos medianos dos NDVI para cada polígono amostral de florestas de castanheiros e sua variável latitude obteve-se valor de $R = 0,984$, demonstrando ótima relação estatística entre essas variáveis.

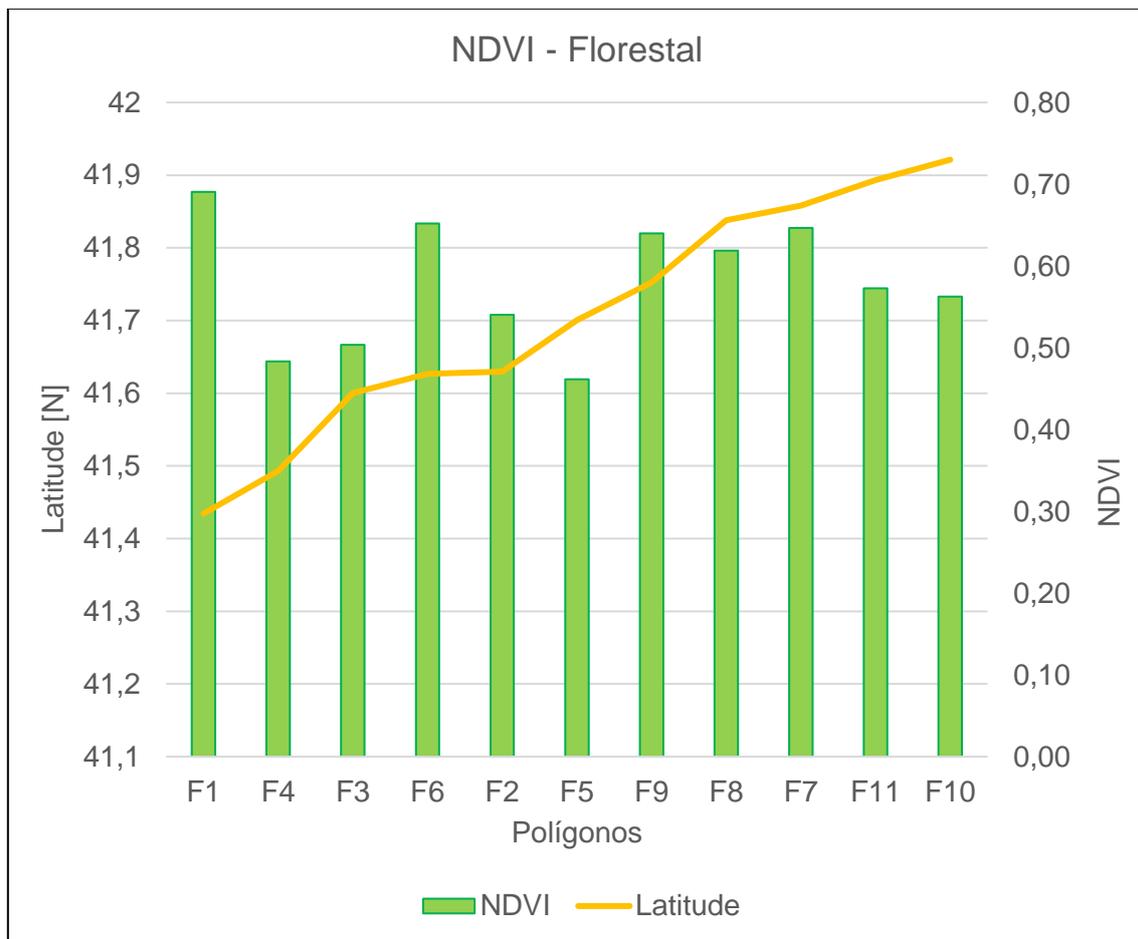


Figura 18: Comportamento do NDVI em relação a latitude no sentido Norte-Sul nos polígonos de floresta

Fonte: Autoria própria, 2021

4.1.2. Pomares

Na figura 19 tem-se o gráfico de percentagem referente às áreas de pomares em cada concelho estudado.

No total, a área de estudo possui cerca de 8.484 ha de seu solo ocupados por pomares de castanheiros, sendo Bragança e Vinhais detentores de 57% dessas áreas de pomares, destes 30 % estão situados em Bragança (2.559 ha), 27 % em Vinhais (2.309 ha), posteriormente 16% em Valpaços (1.331 ha), 9% em Macedo de Cavaleiros (723 ha), 8% em Chaves (632 ha), Vimioso com 5% (451 ha, respectivamente), 3% em Alfândega da Fé (105 ha) Mirandela com 2% (178 ha) e Boticas com 0,23% (23 ha).

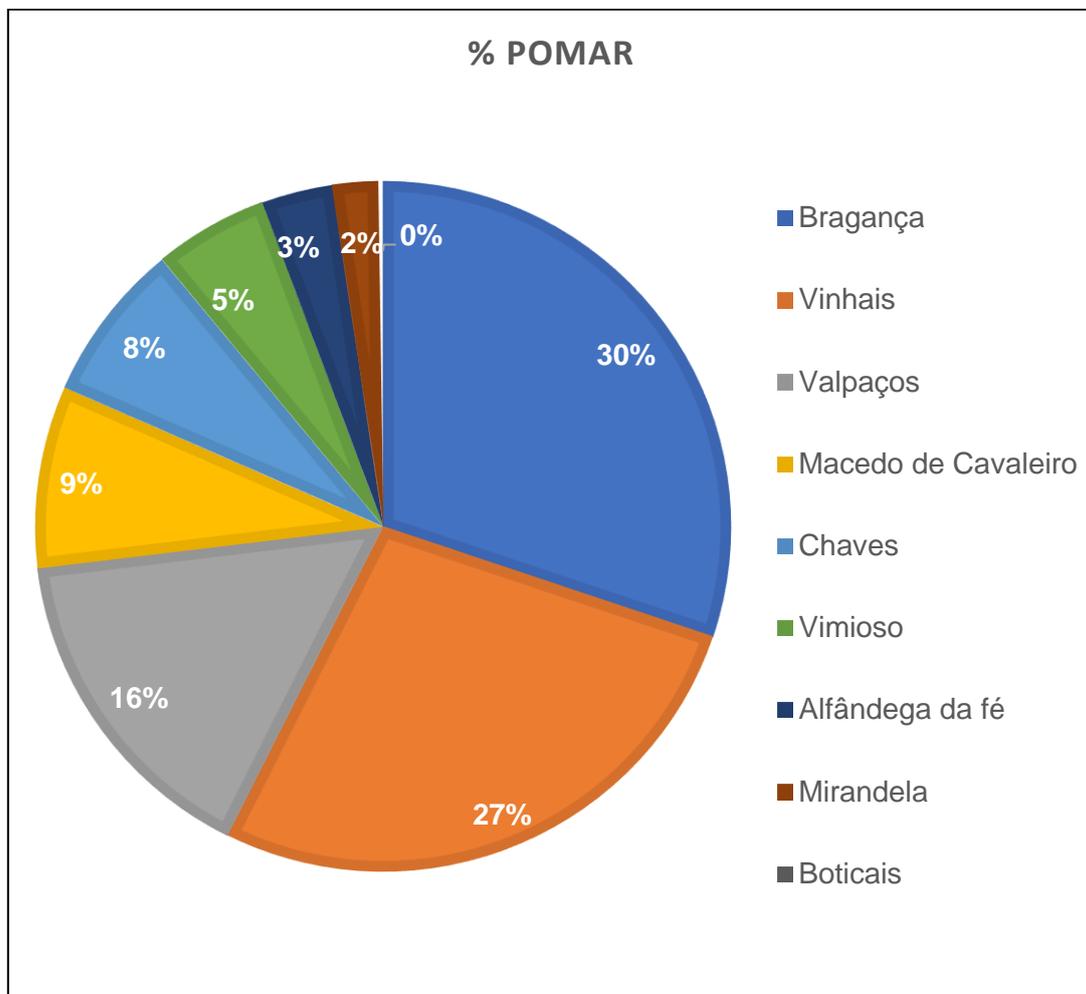


Figura 19: Distribuição espacial dos pomares de castanheiro para área de estudo
 Fonte: Baseado em dados da COS 2007, 2021

Na tabela 3 tem-se a base de dados espaciais dos onze polígonos representativos para as áreas de pomares de castanheiro. O polígono de menor área é o P5 com 1,66 ha, já o de maior área é o P11 com extensão de 111,39 ha. Os polígonos situam-se entre as coordenadas geográficas: de menor latitude = 41,4044 N (P1), maior latitude = 41,8957 N (P11) e de menor longitude = -7,5804 W (P6) e maior longitude = -6,6236 W (P3). A altitude dos polígonos amostrais varia de 406 m (P4) à 955 m (P10), esta variação se deve ao fato de a área de estudo ser de planaltos e montanhas. O NDVI (média do mediano) oscilou de $0,28 \pm 0,11$ (P2) até $0,53 \pm 0,13$ (P6), variação pouco expressiva, uma vez que os valores de NDVI variam de -1 a 1, ressaltando que quanto mais próximo de 1, maior é a atividade vegetativa no local.

Tabela 3: Base de dados espaciais dos polígonos de pomares de castanheiros

Polígono	Área (ha)	Lat. (N)	Long. (W)	Altitude (m)	Mediano NDVI	D.p NDVI
P1	2,51	41,4044	-6,9856	776	0,38	0,10
P2	2,69	41,6883	-6,9607	779	0,28	0,11
P3	1,19	41,6153	-6,6236	698	0,30	0,07
P4	3,98	41,4585	-7,0814	406	0,38	0,10
P5	1,66	41,7015	-7,3995	780	0,40	0,12
P6	3,67	41,7414	-7,5804	554	0,53	0,13
P7	3,19	41,8682	-7,2114	655	0,35	0,10
P8	7,95	41,8717	-6,9560	913	0,46	0,10
P9	17,68	41,8879	-6,8832	885	0,37	0,13
P10	2,68	41,8791	-6,9964	955	0,47	0,09
P11	111,39	41,8957	-6,8765	896	0,49	0,14

Fonte: Autoria própria, 2021

4.1.2.1. Altitude

Na figura 20 verifica-se o comportamento entre os valores de NDVI e a altitude dos polígonos amostrais para área de pomares de castanheiro. É perceptível que a altitude não influenciou expressivamente nos valores de NDVI. O polígono P2 que possui menor valor de NDVI não possui a menor altitude nem a maior, o mesmo ocorre para o polígono de maior NDVI e os de valores médios.

Ao realizar-se a correlação entre as variáveis média dos medianos dos NDVI para cada polígono amostral de pomar de castanheiros e sua variável altitude obteve-se valor de $R = 0,156$, portanto não ocorre correlação estatística direta.

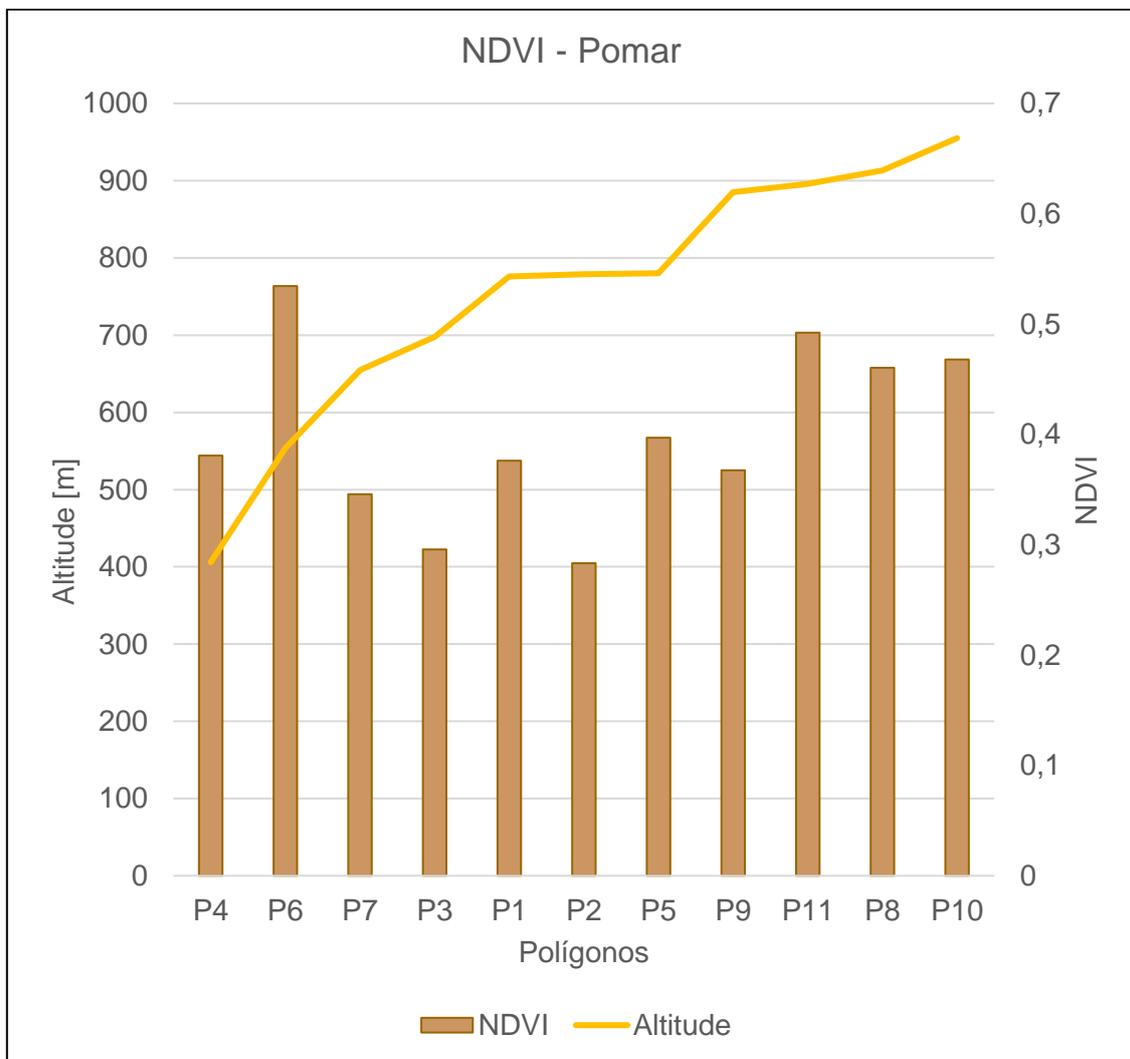


Figura 20: Comportamento do NDVI em relação ao aumento da altitude nos polígonos de pomares

Fonte: Autoria própria, 2021

4.1.2.2. Longitude

Assim como a figura anterior, na figura 21 destaca-se o comportamento entre os valores de NDVI e a distribuição longitudinal desses polígonos amostrais. É notório que para a área de estudo a longitude não exerce grande influência nos valores de NDVI, uma vez que todos os polígonos estão situados em longitude próximas, variando de -7,5804 W a -6,6236 W.

Ao realizar-se a correlação entre as variáveis média dos medianos dos NDVI para cada polígono amostral de pomar de castanheiros e sua variável longitude obteve-se valor de $R = -0,173$, portanto não ocorre correlação estatística direta.

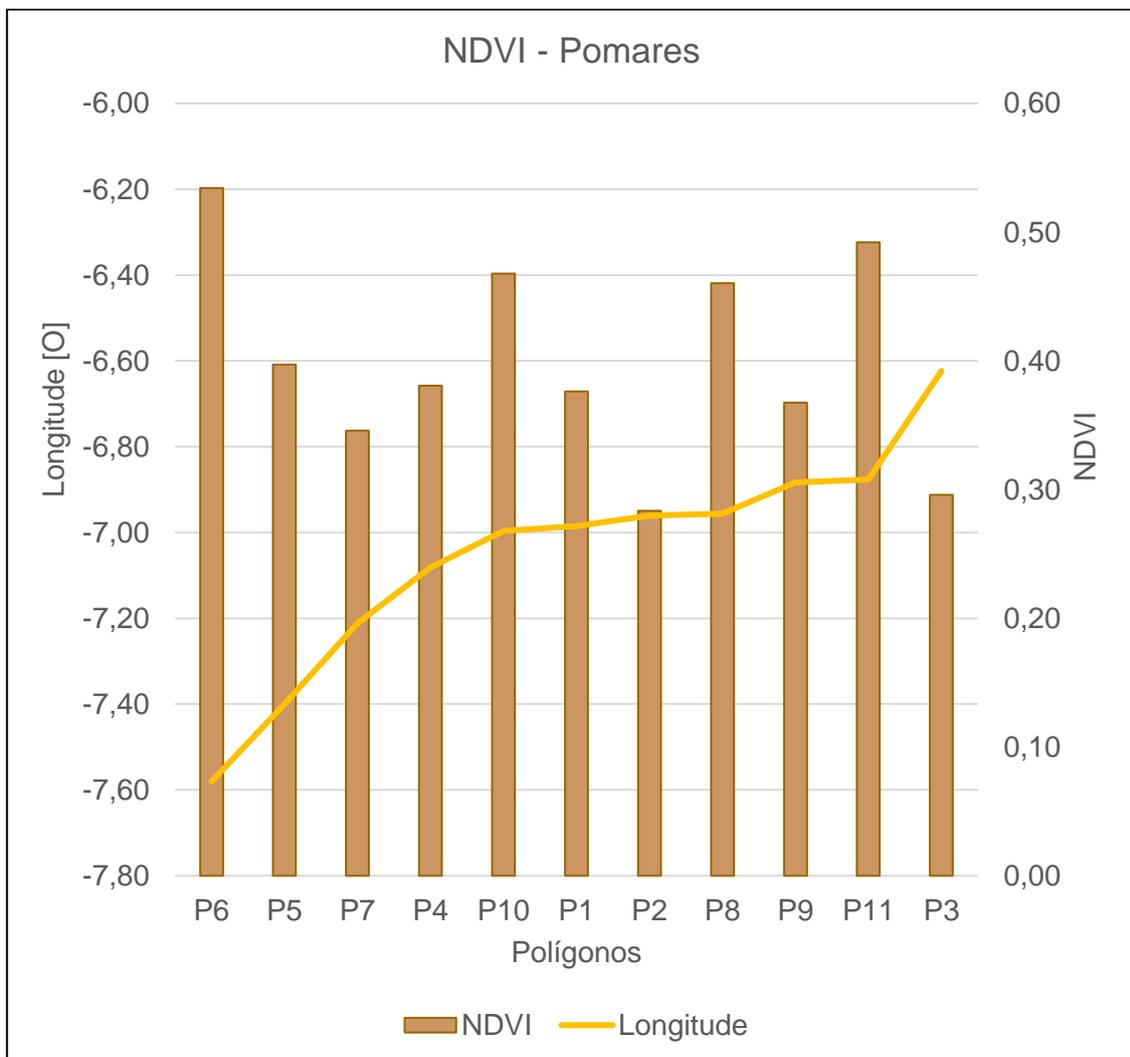


Figura 21: Comportamento do NDVI em relação ao aumento da longitude sentido Oeste-Leste nos polígonos de pomares
 Fonte: Autoria própria, 2021

4.1.2.3. Latitude

Na figura 22 demonstra-se o comportamento dos valores de NDVI e a localização latitudinal dos polígonos amostrais. A latitude não exerce grande influência nos valores de NDVI, uma vez que todos os polígonos estão situados em latitudes próximas, variando de 41,4044 N a 41,8957 N.

Ao realizar-se a correlação entre as variáveis média dos medianos dos NDVI para cada polígono amostral de pomares de castanheiros e sua variável latitude obteve-se valor de $R = 0,925$, demonstrando ótima relação estatística entre essas variáveis.

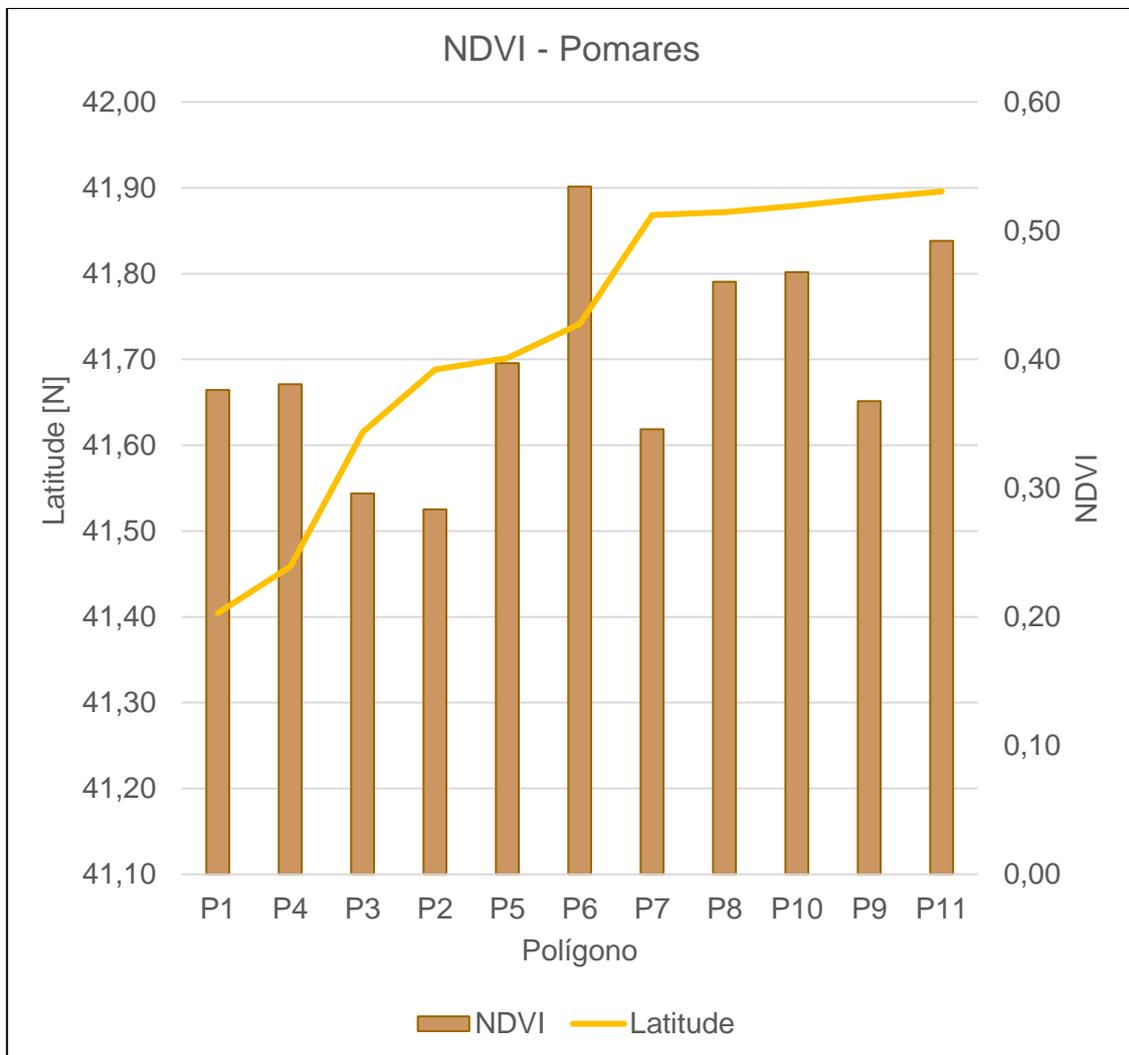


Figura 22: Comportamento do NDVI em relação a latitude no sentido Norte-Sul nos polígonos de pomares
 Fonte: Autoria própria, 2021

4.1.3. Florestas e Pomares de castanheiro comparativo

Ao realizar a correlação entre as variáveis geográficas e as médias de NDVI mediano, obteve-se resultado semelhante ao ocorrido durante análise individual por grupos (florestas de castanheiros e pomares de castanheiros). A correlação da média do NDVI mediano de todos os polígonos representativos para área de estudo (22 polígonos, sendo 11 de florestas e 11 de pomares de castanheiro) com a variável altitude não foi representativa (0,050), o mesmo ocorreu para a longitude (-0,03), já para a variável latitude ocorreu boa correlação estatística (0,554).

Na figura 23 tem-se o comparativo entre as médias de NDVI mediano para cada polígono representativo e a média do conjunto de polígonos. Os polígonos P2, P3, P7, P9, P4, P1 e P8 possuem suas médias menores do que as médias do conjunto de todos os polígonos representativos de pomares, ou seja, possuem valores de NDVI menores que 0,4009, ao contrário dos polígonos P8, P10, P11 e P6 que possuem suas médias de NDVI maiores que a do conjunto de polígonos.

Já para os polígonos representativos de Florestas de castanheiros, os polígonos F8, F9, F7, F6 e F1 apresentaram suas médias de medianos de NDVI maiores que a média de NDVI do grupo de 0,5784, enquanto os polígonos F5, F4, F3, F2, F10 e F11 apresentaram suas médias de NDVI menores do que a média do grupo.

Nota-se a distinção entre os grupos amostrais de florestas e pomares de castanheiros, onde o polígono F5, que possui a menor média de NDVI do grupo representante de florestas de castanheiros, possui o seu valor maior que a média dos medianos para o grupo de pomares de castanheiros.

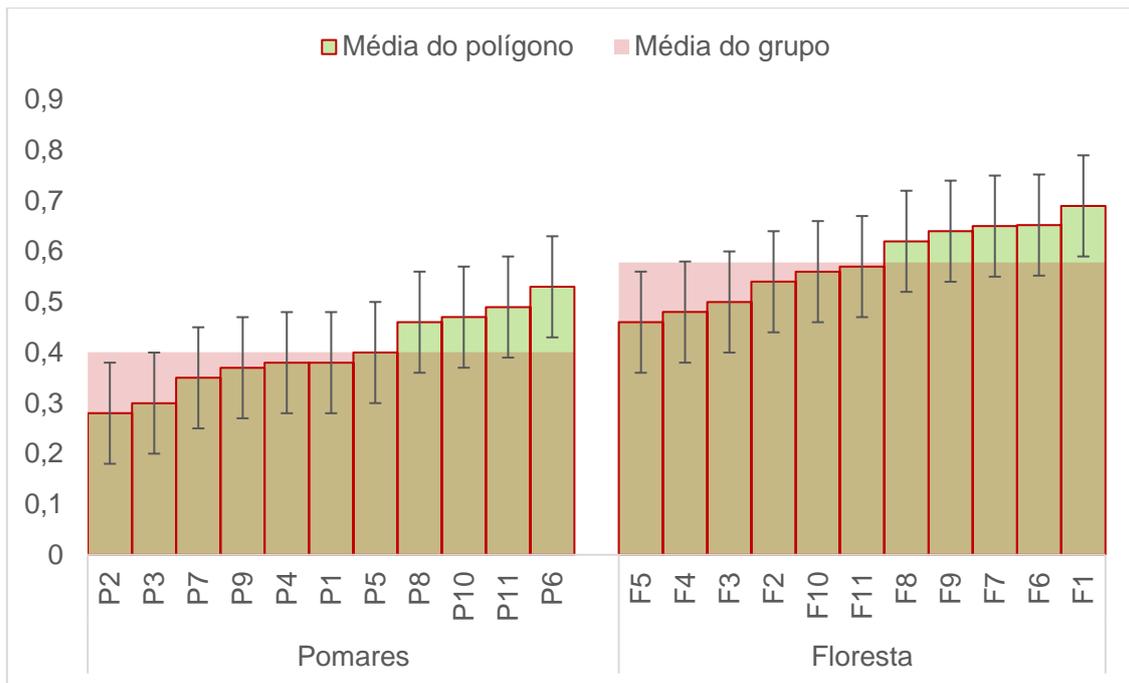


Figura 23 : Comparativo entre valores médios de NDVI para cada polígono e média do conjunto de todos os polígonos representativos tanto para as florestas quanto para os pomares de castanheiros
 Fonte: Autoria própria, 2021

4.2. Análise sazonal

4.2.1. Florestas

Na figura 24 tem-se as médias mensais de medianos de NDVI para os onze polígonos representativos de florestas de castanheiros. Nota-se que o NDVI tem seu período de subida no início da primavera até atingir o seu máximo durante em junho. Tem seu período de estabilização com pequenas oscilações entre junho e setembro, durante o verão, e seu período de descida de outubro a janeiro, durante o outono.

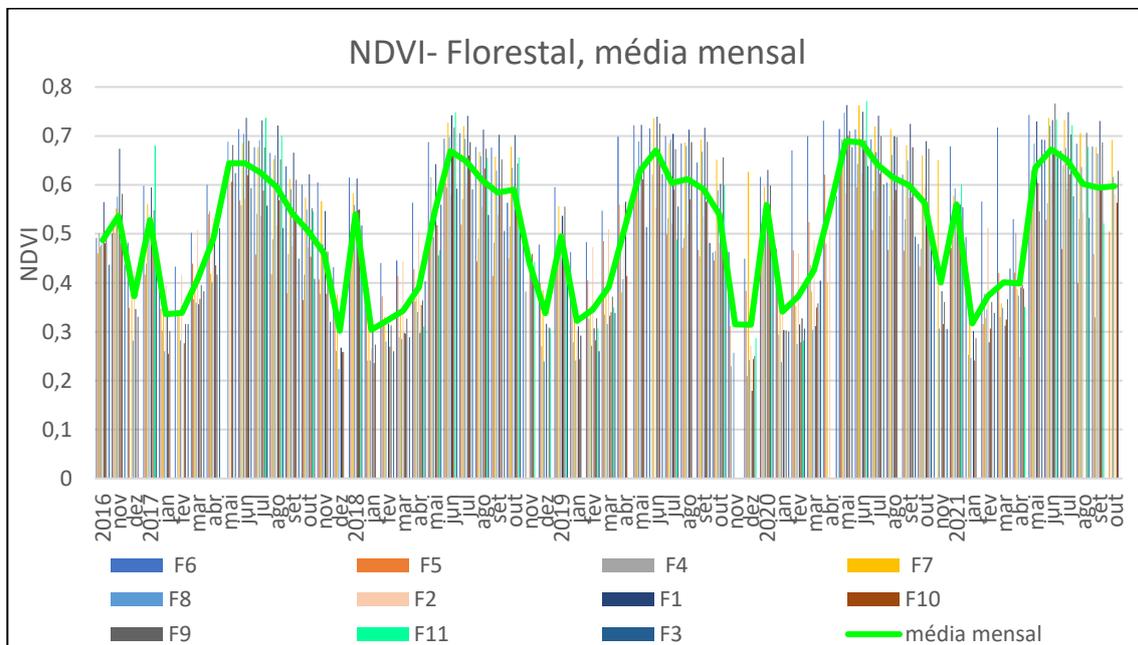


Figura 24: Média mensal dos NDVI dos polígonos representativos de florestas de castanheiro

Fonte: Autoria própria, 2021

4.2.2. Pomares

Na figura 25, semelhante a figura anterior, tem-se as médias mensais de medianos de NDVI para os onze polígonos representativos de pomares de castanheiros. Diferentemente do comportamento apresentado nos polígonos de florestas, o NDVI apresentou divergências entre os anos em análise. No ano de 2017 o seu período de subida foi entre março e maio, já o período de estabilização com oscilações ocorreu entre junho e novembro e período de descida entre final de novembro e janeiro. Já em 2018 o período de subida foi entre março e julho, de estabilização com pequenas oscilações entre julho e outubro, e de descida entre outubro e janeiro. No ano de 2020 o período de subida ocorreu entre março e maio, descida entre outubro e dezembro e estabilização com oscilações entre maio e outubro. E em 2021 até a data analisada, o período de subida ocorreu entre março e maio, de estabilização com oscilações entre junho e outubro.

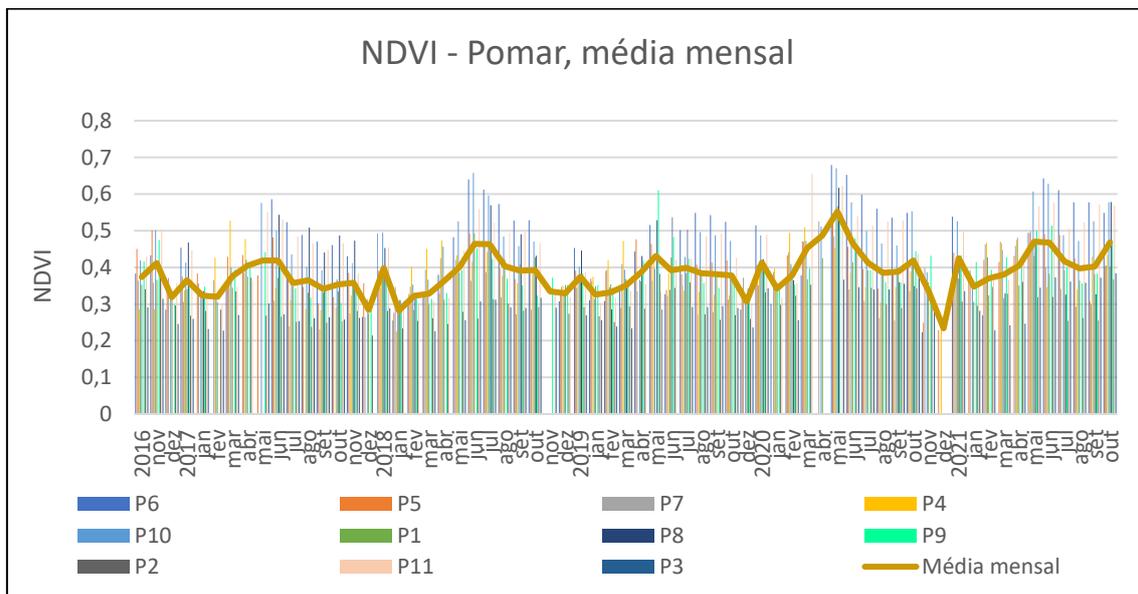


Figura 25: Média mensal dos NDVI dos polígonos representativos de pomares de castanheiro

Fonte: Autoria própria, 2021

4.2.3. Florestas e Pomares de castanheiro comparativo

Na tabela 4 elenca-se os valores de máximo e mínimo NDVI médio (do mediano) para o período de estudo, tanto para os polígonos representativos de florestas quanto para os de pomares de castanheiros. O máximo NDVI médio para as florestas ocorreu no ano de 2020 com valor de 0,703, já o mínimo foi em 2019 com valor de 0,235. Nos polígonos de pomar o valor máximo da média de NDVI foi no ano de 2020 com valor de 0,562 e seu valor mínimo de 0,236 no mesmo ano.

Tabela 4: Valores máximos e mínimos de NDVI anuais

Ano	Floresta		Pomar	
	NDVI Máximo	NDVI Mínimo	NDVI Máximo	NDVI Mínimo
2016	0,556	0,372	0,428	0,315
2017	0,677	0,257	0,462	0,250
2018	0,684	0,243	0,533	0,247
2019	0,681	0,235	0,504	0,273
2020	0,703	0,310	0,562	0,236
2021	0,683	0,289	0,515	0,277

Fonte: Autoria própria, 2021

Na tabela 5 encontra-se a anova referente aos valores médios máximos anuais de NDVI para as florestas e pomares de castanheiros. Em relação aos anos de análise não ocorreram diferenças significativas estatisticamente (valor $p = 0,19101$), ou seja, o comportamento do NDVI foi semelhante para os anos de análise. Já em relação ao NDVI médio máximo das florestas e pomares de castanheiros a diferença foi significativa (valor $p = 0,000186$).

Tabela 5: Anova (fator duplo sem repetição) dos valores máximos anuais de NDVI para as florestas e pomares de castanheiros

Fonte de variação	SQ	gl	MQ	F	valor P	F crítico
Anos	0,004255	4	0,001064	2,574452	0,19101	6,388233
NDVI máximo	0,07292	1	0,07292	176,4811	0,000186	7,708647
Erro	0,001653	4	0,000413			
Total	0,078827	9				

Fonte: Autoria própria, 2021

Na tabela 6 mostra-se a anova referente aos valores médios mínimos anuais de NDVI para as florestas e pomares de castanheiros. Em relação aos anos de análise não ocorreu diferenças significativas (valor $p = 0,685985$), o mesmo ocorre para o NDVI mínimo das florestas e pomares de castanheiros, onde a diferença não foi significativa estatisticamente (valor $p = 0,611042$).

Tabela 6: Anova (fator duplo sem repetição) dos valores mínimos anuais de NDVI para as florestas e pomares de castanheiros

Fonte de variação	SQ	gl	MQ	F	valor P	F crítico
Anos	0,001997	4	0,000499	0,595654	0,685985	6,388233
NDVI mínimo	0,000254	1	0,000254	0,30346	0,611042	7,708647
Erro	0,003353	4	0,000838			
Total	0,005605	9				

Fonte: Autoria própria, 2021

Na tabela 7 encontram-se os valores médios de NDVI por períodos. É perceptível que tanto para os polígonos de floresta quanto para os de pomares os maiores valores de NDVI médio estão entre os meses de abril a novembro e de menores valores entre dezembro e março.

Tabela 7: NDVI médio por períodos

Período	NDVI Médio	
	Floresta	Pomar
Dezembro de 2016 – Março de 2017	0,404	0,352
Abril de 2017- Novembro de 2017	0,526	0,362
Dezembro de 2017- Março de 2018	0,338	0,298
Abril de 2018 - Novembro de 2018	0,589	0,400
Dezembro de 2018 – Março de 2019	0,352	0,338
Abril de 2019 - Novembro de 2019	0,568	0,394
Dezembro de 2019 - Março de 2020	0,371	0,358
Abril de 2020 - Novembro de 2020	0,614	0,429
Dezembro de 2020 - Março de 2021	0,350	0,355
Abril de 2021- Novembro de 2021	0,588	0,427

Fonte: Autoria própria, 2021

Na figura 26, a partir do gráfico de NDVI médio (dos medianos) por períodos, nota-se que no período de dezembro a março, são os meses que apresentam valores de NDVI mais baixo, tanto para o grupo representativo das florestas de castanheiros quanto para os de pomares de castanheiro.

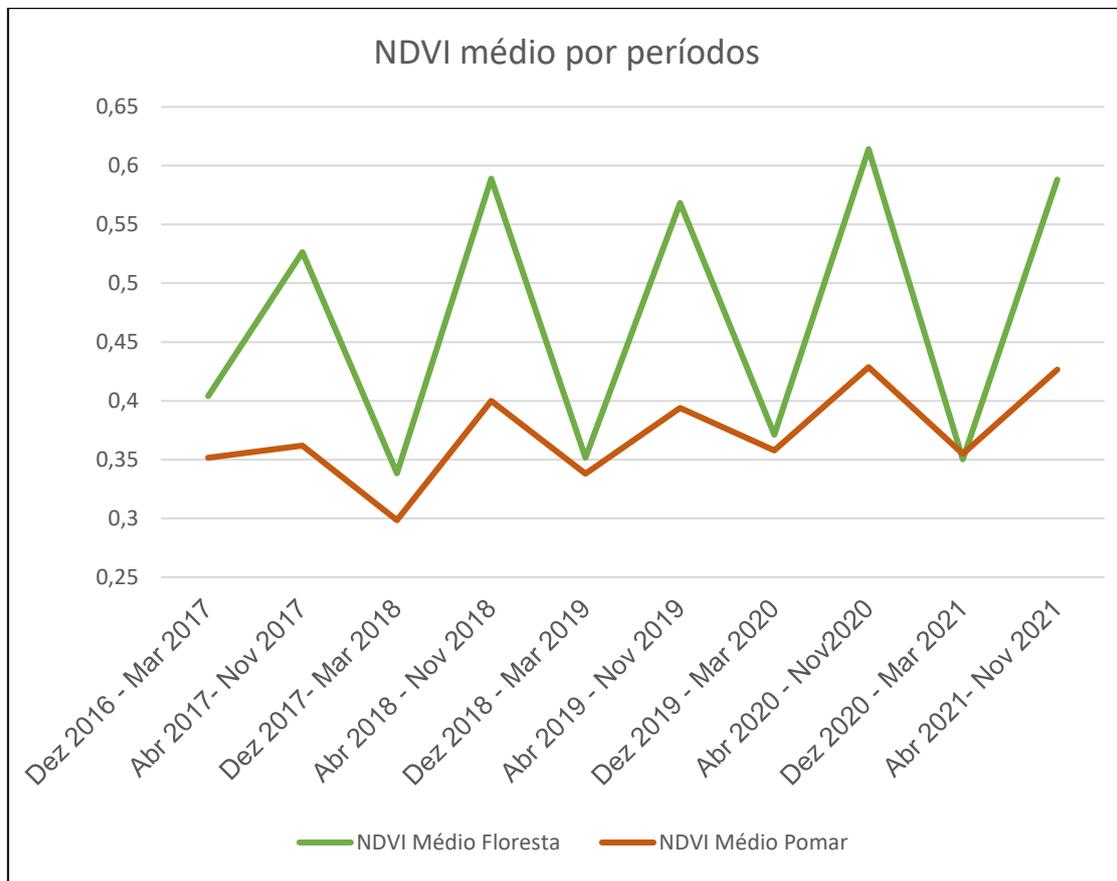


Figura 26: Gráfico do NDVI médio por períodos de dezembro de 2016 até novembro de 2021

Fonte; Autoria própria, 2021

Na figura 27, corroborando com o que já foi analisado anteriormente, percebe-se que o comportamento dos valores de NDVI médio é semelhante entre as florestas de castanheiros e pomares de castanheiros no período de dezembro a março, meses em que apresentam os valores de NDVI mais baixo.

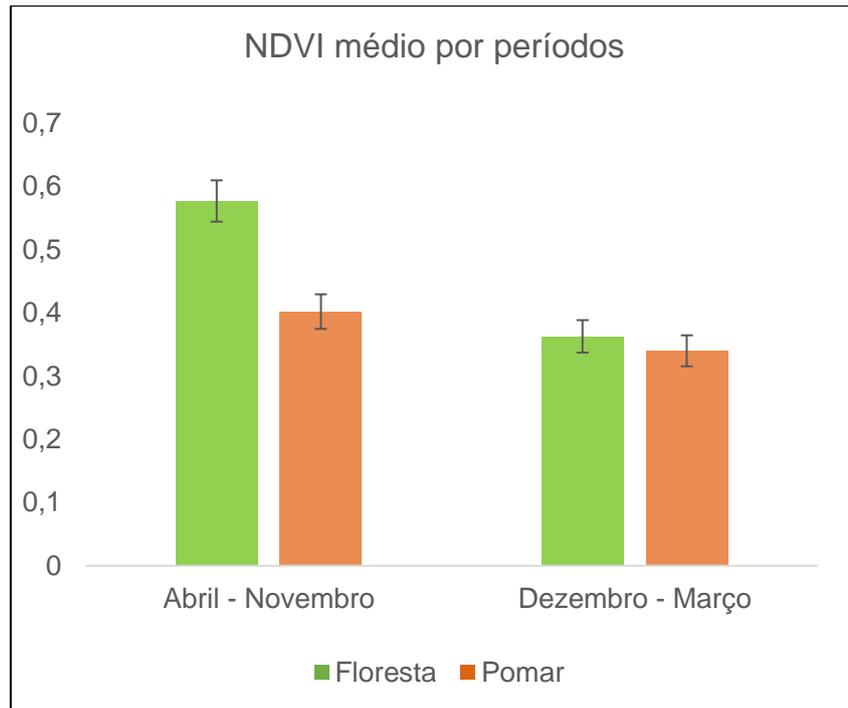


Figura 27: Gráfico do NDVI médio por períodos
 Fonte: Autoria própria, 2021

Na tabela 8 representa-se a anova referente aos valores médios de NDVI por períodos tanto para os polígonos de florestas quanto para os de pomares de castanheiros. Sendo assim, percebe-se que ocorre diferenças significativas entre os valores de NDVI para os períodos analisados (valor $P = 7,12E-10$). Ocorre também, diferenças significativas estatisticamente entre os valores de NDVI entre os grupos, ou seja, entre florestas e pomares de castanheiros (valor $P = 2,52E-07$). Conforme visto na figura 28 há diferenças significativas estatisticamente entre grupos quanto à variação de um período para o outro, ocorrendo diferenças significativas dos valores médios de NDVI entre os períodos, isto pode ser verificado por meio das interações (valor $P = 2,47E-06$).

Tabela 8: Anova (fator duplo com repetição) dos valores de NDVI médio po períodos

Fonte de variação	SQ	gl	MQ	F	valor P	F crítico
Períodos	0,104703	1	0,104703	166,5583	7,12E-10	4,493998
Grupos	0,045366	1	0,045366	72,16594	2,52E-07	4,493998
Interações	0,031794	1	0,031794	50,57649	2,47E-06	4,493998
Erro	0,010058	16	0,000629			
Total	0,191921	19				

Fonte: Autoria própria, 2021

A figura 28 refere-se ao gráfico da média móvel dos medianos de NDVI para os polígonos de florestas e de pomares de castanheiros.

Embora os valores médios de NDVI sejam maiores nas florestas, florestas e pomares mostram tendências de variação temporal semelhantes, isto é, o NDVI tende a aumentar e a diminuir em simultâneo, nas florestas e pomares.

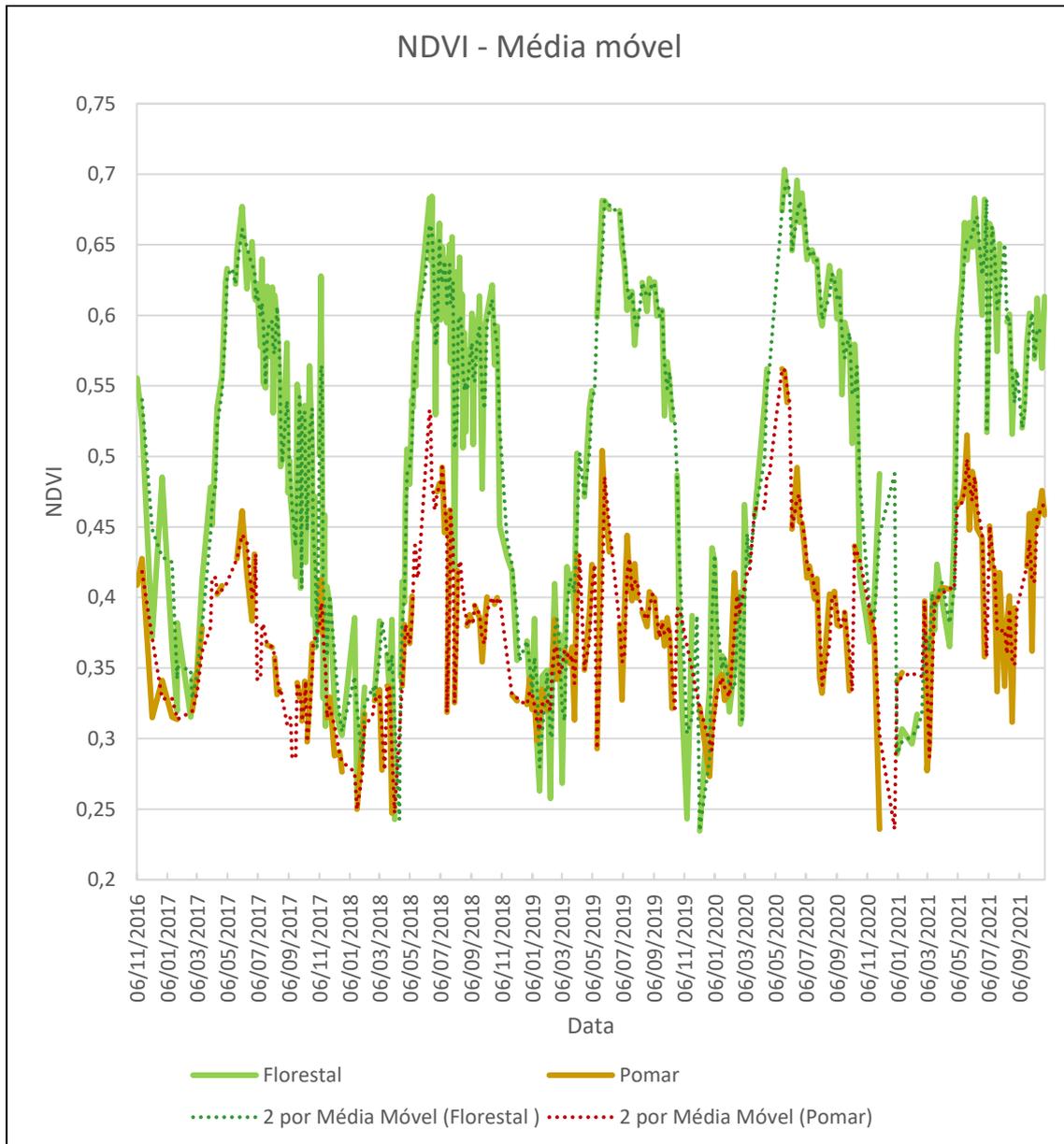


Figura 28: Média móvel dos valores de NDVI médio para cada data, de todos os polígonos de estudo (período da média móvel - 2 datas)

Fonte: Autoria própria, 2021

Na tabela 9 tem-se a anova referente á média dos medianos de NDVI de cada polígono representativo para florestas e pomares de castanheiros. O valor P calculado foi de 3,3E-05, ou seja, a média dos grupos de polígonos de florestas e pomares possuem alta diferença significativa entre si, portanto os pomares de castanheiros possuem médias estatisticamente mais baixas que as florestas de castanheiros

Tabela 9: Anova (fator único) da média dos grupos de polígonos de florestas e pomares de castanheiros

Fonte de variação	SQ	gl	MQ	F	valor P	F crítico
Entre grupos	0,173213	1	0,173213	28,31205	3,3E-05	4,351244
Dentro de grupos	0,12236	20	0,006118			
Total	0,295574	21				

Fonte: Autoria própria, 2021

5. DISCUSSÃO

5.1. Valores de NDVI em cobertos de castanheiro

Nota-se que as áreas de pomares apresentaram em todas as situações valores de NDVI menores em comparação com as áreas de floresta. Isso ocorre devido ao fato de florestas possuírem áreas mais densas de vegetação e de se encontrarem em um estado vegetativo mais estável e/ou saudável.

As áreas de pomares, estão sujeitas a interferências produzidas pela reflectância do solo exposto uma vez que, em plantações, tem-se o espaçamento entre as árvores. Esta interferência do solo e sua composição foi constatada no estudo de Martins et al. (2006), onde os autores observaram que ocorreu uma interferência da reflectância do solo bem marcada sobre a execução do infravermelho próximo, devido “à baixa densidade do castanheiro instalado em sotos e à ausência de vegetação no sob-coberto” (MARTINS et al. 2006).

Os autores ainda explicam que “apesar da condição de solo nu na maior parte dos povoamentos, observam-se nas imagens variações na tonalidade dos solos, consoante a natureza da rocha mãe, sua textura, teor de água e de matéria orgânica. A grande influência do solo dificulta a utilização do NDVI para detecção de árvores jovens ou para a identificação de árvores com maior transparência de copa” (MARTINS et al. 2006).

Em estudos realizados por Pádua et al. (2020) em um povoado de uma zona rural do noroeste de Portugal, com extensão de 0,4 ha e composto por 52 árvores (46 castanheiros) apresentou valores para o NDVI médio dos castanheiros variando de 0,27 a 0,86 e com um valor médio de 0,72. Estes valores são bem semelhantes ao apresentado neste estudo.

5.2. Análise espacial

Uma vez que a área de estudo situa-se espacialmente na mesma região (latitude, longitude e altitude semelhantes), não se notou grande influência no comportamento do NDVI tanto para as áreas amostrais de florestas quanto para as de pomares de castanheiro em relação às variáveis geográficas altitude e longitude, porém observou-se que em áreas com maiores altitudes ocorre maior concentração e distribuição de castanheiros.

Já para a variável geográfica latitude ocorreu uma boa correlação com os valores médio dos medianos de NDVI em todos os casos (florestas de castanheiros, pomares de castanheiros e todos os polígonos), isto corrobora com a ideia de que o castanheiro se adapta melhor às zonas típicas de Terra fria (norte da área de estudo).

No entanto, Pereira et al. (2011), em seu estudo afirma que a localização dos pomares é determinada por condições climáticas e pelo tipo de solo. O autor ainda exemplifica que em Portugal continental, 86% do número total de pixels, com castanheiros como solo principal ocupante, localiza-se entre 500 e 1000m de altitude, e isso ocorre porque os castanheiros encontraram aí condições adequadas para o seu desenvolvimento. Na verdade, a maior parte da produção de castanhas vem de áreas de maior altitude, nomeadamente da Terra Fria, onde a paisagem é dominada pelo relevo ondulado do planalto Transmontano.

As altas densidades de castanheiros em Portugal e na Espanha são encontradas nas mesmas regiões geográfica, estendendo-se desde o Nordeste de Portugal e Galiza a Navarra, passando pela costa noroeste da Espanha (PEREIRA et al. 2011).

5.3. Análise sazonal

Segundo Pereira et al. (2011), todas espécies de plantas são dependentes do clima no que diz respeito à sua produção. No entanto, há apenas alguns estudos publicados sobre a dependência climática da produção de castanha e nenhuma das referências encontradas sobre o assunto quantificou para o modelo de produção de castanha portuguesa.

Em estudos realizados na Espanha, Fernández-López et al. (2005) estudam as diferenças geográficas com suas diferenciações em características adaptativas das populações de castanheiros selvagens, utilizando dados climáticos de variação de temperatura, precipitação, secas de verão e a temperatura do mês mais quente, buscando adicionar evidências do papel de variáveis meteorológicas, em especial geadas durante a abertura do botão, temperatura do mês mais quente, precipitação de verão e seca, criando um índice xerotérmico.

Já no nordeste de Portugal estudos realizados por Almeida et al. (2007), analisam a influência do tempo, temperatura e radiação na produtividade da fotossíntese nas populações de castanheiros

Pereira et al. (2011) em seu estudo buscou analisar qual seria o clima com condições favoráveis e adversas para a produção de castanhas, bem como avaliar o risco e identificar medidas adequadas para adaptação às mudanças climáticas.

Semelhantemente ao observado neste estudo, Pereira et al. (2011) constatou que o ciclo NDVI apresenta o seu valor máximo no início verão (junho) e o mínimo durante o inverno (dezembro), característica que se relaciona com o ciclo vegetativo da castanha. O autor conclui que “*Condições meteorológicas desfavoráveis particulares em curtos períodos (escala semanal) e em regiões específicas podem ocorrer sem ser detectado, e que em um período mensal de análise de dados pode comprometer os resultados obtidos*”. O autor ainda exalta a dificuldade em correlacionar a produtividade de castanha com dados meteorológicos, principalmente pelo fato de se usar dados meteorológicos representativos da região, fato este que pode ser contornado ao utilizar dados disponíveis apenas para a região de produção, porém estes são de difícil acesso uma vez que nem sempre existe o controle meteorológico no local.

Da mesma forma, Prada et al. (2020), em seu estudo realizado no norte da Espanha percebeu que a metodologia de analisar as mudanças anuais ou sazonais por meio de dados de séries temporais de imagens de satélite é útil para monitorar mudanças anuais ou sazonais na copa da talhadia de castanheiros na zona climática da área de estudo, porém a utilização do NDVI apresentou alguns equívocos no inverno, período em que não há folhas, o NDVI apresentou alguns picos para a série de dados de tempo analisada,

comportamento semelhante ao se houvesse algumas folhas nas árvores e como o castanheiro é uma espécie de foliação tardia, na primavera ou no outono, o sub-bosque pode ter influenciado a dinâmica calculada pelo NDVI.

Ao longo dos anos analisados, neste trabalho, percebe-se que o NDVI estabilizado oscilou coincidentemente com períodos de geada ou de alta precipitação, por exemplo no ano de 2020, começou sua estabilização em abril (fim do período de geada) e iniciou seu decréscimo em outubro, início dos acontecimentos de geada. Dessa forma cada ano tende a apresentar variações quanto aos seus máximos e mínimos e período de subida, estabilização e decréscimo de NDVI.

6. SÍNTESE E CONCLUSÃO

Os sistemas de informação geográfica são ferramentas úteis, práticas e que vêm se destacando para analisar o ambiente e suas interações com os sistemas agroflorestais. As imagens de satélite facilitam a análise do meio, reduzindo os custos que as avaliações de campo acarretam.

Neste estudo constatou-se que os castanheiros se adaptam a condições espacialmente diversas. Porém, em áreas com maiores altitudes ocorre maior concentração de castanheiros. Os castanheiros estão distribuídos em sua maior parte nos Concelhos de Vinhais e Bragança, com altitudes médias de 714 m e 799 m, respetivamente.

Verificou-se uma boa correlação entre a variável espacial latitude e os valores médios dos medianos de NDVI, ou seja, quanto mais ao norte da área de estudo (longe das zonas típicas de Terra Quente e bem no interior das zonas típicas de Terra Fria), mais favoráveis são as condições de adaptação dos castanheiros, tanto para as florestas quanto para os pomares desta espécie.

Os valores de NDVI para as áreas de florestas de castanheiros são maiores do que os das áreas de pomares. Isto porque as áreas de florestas possuem estruturas arbóreas mais densas e robustas, enquanto os pomares possuem maior espaçamento entre árvores, manifestando a interferência direta da reflectância do solo no espaço entre copas.

Os valores de NDVI são sensíveis às variações do estado do tempo. Eventos como geada e neve impactam diretamente na leitura espectral da imagem, alterando, portanto, o NDVI. Esses fenómenos devem ser analisados de forma pontual para maximizar a precisão das informações obtidas.

Os valores de NDVI variam ao longo do ano. Este fato está relacionado com o estado fenológico dos castanheiros que acompanham as distinções climáticas das estações ao longo do ano. No outono e inverno, os valores de NDVI são menores e no verão e primavera são maiores uma vez que os castanheiros, nestas estações, a folhagem mais verde das copas determina maior reflectância no NIR

7. TRABALHOS FUTUROS

Com este estudo foi possível identificar tópicos que podem ser aplicados em trabalhos futuros, como:

- Realizar a correlação espacial por meio de sobreposição de dados como a distribuição espacial dos polígonos representantes e seus dados geográficos (solo, altitude, latitude e longitude);
- Realizar a correlação entre eventos climáticos, in loco, como geada, neve, e temporais e a sua influência nos valores de NDVI;
- Analisar e avaliar mais índices de vegetação;
- Realizar um comparativo de valores com espécies típicas da região;
- Analisar a mortalidade e problemas fitossanitários dos castanheiros;
- Entre outros.

REFERÊNCIAS

- Agroconsultores; Coba. (1991). *Carta dos Solos, Carta do Uso Actual e Carta de Aptidão da Terra do Nordeste de Portugal*. (Ed. PDRITM). Vila Real: Universidade de Trás-os-Monstes e Alto Douro.
- Almeida, P. et al. (2007). *Effect of temperature and radiation on photosynthesis productivity in chestnut populations (Castanea sativa Mill. cv. Judia)*. Acta Agronomica Hungarica, 55(2), 193-203.
- Alves, F. Z. (2019). *Estimativa do fator C da USLE e efeito do uso da terra no risco de erosão em áreas de montanha do Nordeste de Portugal* (Master's thesis). Instituto Politécnico de Bragança. Bragança.
- Baltazar, E.C.S. (2015). *Otimização de protocolos de micropropagação de Castanea sativa Mill e estudo da tolerância de genótipos de castanheiro à doença da tinta*. (Master's thesis). Universidade de Coimbra, Coimbra.
- Bernardi, A. D. C. et al. (2014). *Agricultura de precisão: resultados de um novo olhar*. Embrapa Instrumentação-Livro técnico (INFOTECA-E).
- Cabo, P. et al. (2019). *O setor da castanha em Portugal*. In *III Congresso Nacional das Escolas Superiores Agrárias (IIICNESA)*. Instituto Politécnico de Viseu.
- Cardoso, J. F. & Pereira, M. P. (2007). *O castanheiro de fruto em Portugal*. Vila Real, Programa Agro.
- Chazarra, A. et al. (Org.). (2011). *Atlas Climático Ibérico*. Portugal: Departamento de Producción da Agência Estatal de Meteorologia de Espanha (Área de Climatología y Aplicaciones Operativas) e Pelo Departamento de Meteorologia e Clima (divisão de Observação Meteorológica e Clima), do Instituto de Meteorologia. Portugal.
- Coelho, M.T.P.P.G.R. (1999). *Influência da concentração de CO₂ na aclimatização de plantas de castanheiro regeneradas IN VITRO* (Master's thesis). Universidade de Évora. Évora.
- Conedera, M. et al. (2004). *Distribution and economic potential of the Sweet chestnut (Castanea sativa Mill.) in Europe*. Ecologia mediterranea, 30(2),

179-193.

Costa, R. L. (2020). *Castanheiro: uma cultura milenar e marcante nas regiões de montanha*. Florestas. Disponível em: <<https://florestas.pt/conhecer/castanheiro-uma-cultura-milenar-e-marcante-nas-regioes-de-montanha/>>.

DMACN. Divisão Municipal de Ambiente e Conservação da Natureza. (2011). “A espécie da estação”. *Castanea sativa Mill.* Divisão Municipal de Ambiente e Conservação da Natureza Município de Oliveira de Azeméis. N.º 03/2011.

Dal Colletto, I. C. et al. (2020). *Estimativa do NDVI utilizando imagens do Sentinel-2 e do SIG SNAP para avaliação de estádios de degradação de pastagens em Alcinópolis-MS*. In: Anais do Congresso Interinstitucional De Iniciação Científica, Embrapa Informática Agropecuária. Campinas.

Drusch, M. et al. (2012). *Sentinel-2: ESA's optical high-resolution mission for GMES operational services*. Remote sensing of Environment, 120, 25-36.

ESA. Agência Espacial Europeia. (2021). Disponível em: <http://www.esa.int/Space_in_Member_States/Portugal/Lancamento_do_segundo_satelite_de_visao_colorida_para_Copernicus>.

FAO. Food and Agriculture Organization of the United Nation. (2018) Faostat data for chestnut. Disponível em: <<https://www.fao.org/faostat/en/#data/QC/visualize>>.

Farinha, I. F. S. M. (2017). *Valorização Da Identidade Do Território Pelo Produto Os Castanheiros de Trancoso*. (Master's thesis). Universidade de Aveiro. Aveiro.

Feio, S. V. M. (2017). *Análise multitemporal de imagens do satélite Sentinel-2 como suporte à elegibilidade das ajudas comunitárias agrícolas*. Universidade de Lisboa. Lisboa.

Figueiredo, T. de. (2013). *Uma panorâmica sobre os recursos pedológicos do Nordeste Transmontano*. (Instituto Politécnico de Bragança, Ed.) (84th-Série ed.). Bragança. Portugal.

Fonseca, A. D. & Fernandes, J. C. (2004). *Deteção remota*. LIDEL – Edições

- Técnicas, Lisboa, Portugal.
- Fórum Florestal. (2016). *Estudo Económico do Desenvolvimento da Fileira da Castanha. Estrutura Federativa da Floresta Portuguesa*, Portugal.
- Guedes, J. & da Silva, S. M. P. (2018). *Sensoriamento remoto no estudo da vegetação: princípios físicos, sensores e métodos*. Acta Geográfica, 12(29), 127-144.
- Henriques, C. A. D. S. (2015). *Contributo para o estudo da produtividade do castanheiro "Martaínha" em Penela da Beira (DOP "Soutos da Lapa"*. (Master's thesis). Instituto Politécnico de Castelo Branco. Castelo Branco.
- IPMA. Instituto Português do Mar e da Atmosfera (Org.). (2021). *Normais Climatológicas*. Lisboa, Portugal. Disponível em: <<https://www.ipma.pt/pt/oclima/normais.clima/>>.
- INE. Instituto Nacional de Estatística. (2018). *Estatísticas Agrícolas*, Portugal. Disponível em: <<https://www.ine.pt/xurl/pub/320461359>>.
- INE. Instituto Nacional de Estatística. (2019). *Recenseamento Agrícola 2019 - Primeiros Resultados*. Portugal. Disponível em: <https://www.ine.pt/xportal/xmain?xpid=INE&xpgid=ine_destaques&DESTAQUESdest_boui=467628567&DESTAQUESmodo=2>.
- INIAV. Instituto Nacional de Investigação Agrária e Veterinária. (2021). *Castanheiro: área de distribuição*. NEW Cast Rootstock. Portugal.
- Gomes-Laranjo, J. et al. (2007). *Na Rota da castanha em Trás-os-Montes*. Vila Real, Programa Agro.
- Gomes-Laranjo, J. C. E. (2017). *Castanheiro: Estado da produção*. Vila Real, Programa Agro.
- Lopes, N. D. N. (2018). *A vespa das galhas dos castanheiros-relação com parâmetros ambientais* (Doctoral dissertation). Faculdade de Ciências e Tecnologia Universidade Nova de Lisboa. Lisboa.
- Marques, F. J. M. (2018). *Utilidade agronómica dos índices NDVI e NDWI obtidos por imagem dos satélites Sentinel-2: estudos de caso nas culturas de trigo*,

- brócolo e arroz* (Master's thesis). Universidade de Évora. Évora.
- Martins, A. (2004). *Micorrização controlada de Castanea sativa Mill. Aspectos fisiológicos da micorrização in vitro e ex vitro*. Universidade de Lisboa. Lisboa.
- Martins, L. et al. (2006). *Fotografias aéreas de 35, 70 mm ou digitais na monitoração da doença da tinta do castanheiro*. VII Seminário em Atualização em Sensoriamento Remoto e Sistemas de Informações Geográficas Aplicados à Engenharia Florestal, 134-142.
- Neves, A. et al. (2019). Deteção de estruturas permanentes a partir de dados de séries temporais Sentinel 1 e 2. arXiv preprint arXiv:1912.10799.
- Pádua, L. et al. (2020). *Estimation of Leaf Area Index in Chestnut Trees using Multispectral Data from an Unmanned Aerial Vehicle*. In IGARSS 2020-2020 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium (pp. 6503-6506). IEEE.
- Paiva, J. 1990. *O Castanheiro em Portugal*. Ed. QUERCUS - Associação Nacional de Conservação da Natureza. Cadernos QUERCUS, Série A - Nº 4.
- Paranhos Filho, A. et al. (2021). *Introdução a Conceitos de Sensoriamento Remoto*. Geotecnologias para Aplicações Ambientais (pp.9-15). Ed. UFMS, Campo Grande/MS.
- Pereira, D. L. et al. (2014). *Unidades Geomorfológicas de Portugal Continental*. Revista Brasileira de Geomorfologia.
- Pereira, M. G. et al. (2011). *Assessment of weather-related risk on chestnut productivity*. Natural Hazards and Earth System Sciences, 11(10), 2729-2739.
- Prada, M. et al. (2020). *Assessing canopy responses to thinnings for sweet chestnut coppice with time-series vegetation indices derived from landsat-8 and sentinel-2 imagery*. Remote Sensing, 12(18), 3068.
- Rodrigues, M. T. C. (1999). *Deteção remota por satélite de matos mediterrânicos*

- de cistáceas*. (Doctoral dissertation). Faculdade de Ciências e Tecnologia Universidade Nova de Lisboa. Lisboa.
- Rudorff, B. et al. (2002). *Sensoriamento remoto aplicado à agricultura*. São José dos Campos: INPE.
- Silva, J. M. O. (2015). *Uso do sensoriamento remoto para a estimativa da temperatura de superfície na microbacia do rio Granjeiro/crato–Ceará*. Geosaberes: Revista de Estudos Geoeducacionais, 6(2), 130-144.
- Silva, V. C. B. & Machado, P. D. S. (2010). *Iniciando no ARCGIS*. Belo Horizonte: Centro Universitário de Belo Horizonte.
- Soares, M. F. M. (2008). *Contribuição para o desenvolvimento de um programa de proteção contra o bichado-da-castanha, Cydia splendana (HÜBNER)* (Master's thesis). Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro. Vila Real.
- Torlay, R. & Oshiro, O. T. (2010). *Obtenção de Imagem do Google Earth para classificação de uso e ocupação do solo*. In Embrapa Territorial-Artigo em anais de congresso (ALICE). In: CONGRESSO DE INTERINSTITUCIONAL DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 4., 2010. Campinas. Anais... Campinas: IAC, 2010.
- Tullio, L. (Org). (2018). *Aplicações e Princípios do Sensoriamento Remoto*. Ed. Atena, Ponta Grossa/PR.
- Wojtowicz, M. et al. (2015). *Application of remote sensing methods in Agriculture*. Communication in Biometry and Crop Science, 11(1): 31–50.