

MESTRADO EM SISTEMAS DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA E ORDENAMNETO DO TERRITÓRIO

Os Sistemas de Informação Geográfica aplicados na construção de mapas de produtividade para apoiar as decisões do enólogo

Daniela Silva Ribeiro

M

2019



Daniela Silva Ribeiro

**Os Sistemas de Informação Geográfica aplicados na construção de
mapas de produtividade para apoiar as decisões do enólogo**

Dissertação realizada no âmbito do Mestrado em Sistemas de Informação Geográfica e Ordenamento do Território, orientada pelo Professor Doutor António Alberto Teixeira Gomes e coorientada pelo Doutor Engenheiro Filipe Baptista Neves dos Santos

Faculdade de Letras da Universidade do Porto

Setembro de 2019

Os Sistemas de Informação Geográfica aplicados na construção de mapas de produtividade para apoiar as decisões do enólogo

Daniela Silva Ribeiro

Dissertação realizada no âmbito do Mestrado em Sistemas de Informação Geográfica e Ordenamento do Território, orientada pelo Professor Doutor António Alberto Teixeira Gomes e coorientada pelo Doutor Engenheiro Filipe Neves dos Santos

Membros do Júri

Professor Doutor José Augusto Alves Teixeira
Faculdade de Letras da Universidade do Porto

Professor Doutor Ricardo José Vieira Baptista
Faculdade de Letras da Universidade do Porto

Professor Doutor António Alberto Teixeira Gomes
Faculdade de Letras da Universidade do Porto

Classificação obtida: 14 valores

Índice geral

Índice geral	4
Declaração de honra	6
Agradecimentos	7
Resumo	8
Abstract.....	9
Índice de figuras	10
Índice de tabelas	12
Lista de abreviaturas	13
1. Introdução	14
1.1. Tarefas	16
1.2. Enquadramento Geográfico	17
1.3. Considerações gerais.....	18
2. Agricultura de Precisão: enquadramento teórico.....	21
2.1. Agricultura de Precisão.....	21
2.1.1. Robótica Agrícola	25
2.1.2. Detecção remota.....	26
2.1.3. Satélites (<i>Landsat</i> e <i>Sentinel</i>)	27
2.1.4. <i>Drones</i>	30
2.2. Viticultura de Precisão	31
2.2.1. Índices de vegetação.....	34
2.2.2. Métodos para calcular a produtividade	36
3. Materiais e métodos.....	37
3.1 Materiais	37
3.1.1 <i>AgIoT – Hardware</i>	38
3.2. Metodologia	39
4. Caracterização do Ciclo da Vinha e da Vinha em análise	41
4.1. Ciclo vegetativo da videira	41

4.2. Caracterização da vinha em análise	46
4.2.1. Evolução da ocupação do solo na área.....	46
4.2.2. Ocupação do solo	48
4.2.3. Topografia e exposição das vertentes.....	49
4.2.4. Hidrografia	51
4.2.5. Geologia	52
4.2.6. Características climáticas	53
5. Mapas de produtividade dos bardos em estudo	56
5.1. Metodologia de cálculo da produtividade na vinha em estudo.....	57
5.2. Produtividade/ Volume da colheita.....	59
5.3. Análise NDVI	61
6. Conclusões.....	65
7. Referências bibliográficas	66

Declaração de honra

Declaro que o presente relatório de estágio é de minha autoria e não foi utilizado previamente noutro curso ou unidade curricular, desta ou de outra instituição. As referências a outros autores (afirmações, ideias, pensamentos) respeitam escrupulosamente as regras da atribuição, e encontram-se devidamente indicadas no texto e nas referências bibliográficas, de acordo com as normas de referência. Tenho consciência de que a prática de plágio e auto-plágio constitui um ilícito académico.

Estarreja, 30/09/2019

Daniela Silva Ribeiro

Agradecimentos

Pela atenção e compreensão, que tornou possível levar a bom termo a concretização da dissertação que agora apresento, as minhas palavras de gratidão são naturalmente dirigidas ao meu orientador, Professor Doutor António Alberto Teixeira Gomes.

Agradeço igualmente ao coorientador Doutor Engenheiro Filipe Neves dos Santos e ao Engenheiro Pedro Moura por disponibilizarem os dados e colaborarem na realização do relatório de estágio.

Resumo

A necessidade de produzir mais e com menos custos implica uma gestão mais eficiente no setor agrícola e, para isso, é crucial ter informação sobre o que acontece no terreno. A agricultura de precisão centra-se na recolha de informações para depois fornecer aos agricultores dados para tomarem as melhores decisões sobre a sua produção e a aplicação de ações corretivas.

Com o desenvolvimento e incorporação das mais avançadas tecnologias nos processos agrícolas, o produtor fica a saber muito sobre a sua produção, permitindo assim tomar uma decisão mais informada, nomeadamente a altura e a quantidade a regar, que porção de fertilizantes a planta precisa e quando e qual a altura adequada para a colheita. A inovação ao nível da perceção sensorial das máquinas e alfaías agrícolas, permitirá aumentar progressivamente a precisão da agricultura até à gestão ao pé da planta. Os sistemas de gestão geográfica irão desempenhar um papel importante e fundamental, na agricultura de precisão do futuro, pelo que é necessário existir formação para que a agricultura possa ser pensada de forma geográfica, ou seja, se o solo varia, a produtividade e a evolução da planta também varia.

As áreas vitivinícolas portuguesas distinguem-se pela sua qualidade na produção de vinho. Atualmente, grande parte das vinhas do norte caracterizam-se pelas suas encostas e pelo solo não homogéneo tornando, assim, a sua produção delicada. Embora, os avanços adaptados à viticultura se tenham tornado fundamentais para um trabalho mais produtivo e, por sua vez, uma maior rentabilidade económica, para progredir os resultados, deve-se ter em conta o tratamento dos dados de produção, apoiando-os em conhecimento e tecnologia recente. A realização de mapas de produtividade favorece na tomada de decisão do proprietário de vinho porque permite que este tenha por base resultados qualitativos e quantitativos da produção.

Esta dissertação, partindo de dados brutos e reais de produtividade de uma vinha, apresenta uma série de métodos para transformar estes dados em mapas de produtividade intuitivos para o agricultor e que permitam a sua fusão com outros dados espaciais (nomeadamente os provenientes do *Sentinel*).

Palavras-chave: Viticultura de Precisão, Desenvolvimento, Novas tecnologias

Abstract

The need to produce more and at lower costs implies more efficient management in the agricultural sector, and for this to have information about what happens on the ground. Precision agriculture focuses on gathering information and then providing farmers with data to make the best decisions about their production and corrective action.

With the development and incorporation of the most advanced technologies in agricultural processes, the producer gets to know practically everything about their production, thus allowing a more informed decision, namely the time and quantity to water; how much fertilizer the plant needs and when and when is the right time for the crop. The innovation in sensory perception of agricultural machines and implements will make it possible to progressively increase the accuracy of agriculture to plant management. Geographic management systems will play an important and fundamental role in the precision agriculture of the future, so training needs to be in place so that agriculture can be thought of geographically, ie whether soil varies, productivity and the evolution of agriculture. Plant also varies.

Portuguese wine areas are authenticated for their quality in wine production. Today, the vineyards are characterized by their slopes and non-homogeneous soil, thus making their production delicate. Whilst advances adapted to viticulture have become crucial for more productive work and, in turn, greater economic profitability, in order to advance results, consideration should be given to the processing of production data and the support of this knowledge. and recent technology. Producing productivity maps favors the decision of the wine owner because it allows them to be based on qualitative and quantitative results of production.

This dissertation, based on raw and actual yield data from a vineyard, presents a number of methods for turning this data into farmer-friendly productivity maps that allow it to be merged with other spatial data (notably from Sentinel).

Keyword: Precision viticulture, Development, New technologies

Índice de figuras

Figura 1 - Enquadramento geográfico da vinha em estudo.	17
Figura 2 - Processo de entradas (<i>inputs</i>) e saídas (<i>outputs</i>). Adaptado de Corky & Bramley (1998). Fonte: (Serenio, 2009).	18
Figura 3 - Através da viticultura de precisão conseguir controlar a evolução da vinha planta a planta e conhecer o terreno de uma forma mais profunda. Fonte: Ravasqueira, 2017.	20
Figura 4 - Recolha de dados para avaliar a saúde da planta e para perceber como a produtividade evolui ao longo do tempo. Fonte: Mapatopogis.com	21
Figura 5 - O NDVI permite identificar a variabilidade espacial do vigor vegetativo numa cultura. Fonte: <i>TerraPro technologies</i>	23
Figura 6 – Fases da Agricultura de Precisão. Fonte: Santos, 2016	24
Figura 7 - Robótica para Agricultura e Silvicultura. Fonte: agrob.inesctec.pt.	25
Figura 8 - Esquematização da deteção remota Fonte: Spencer, 2011.	26
Figura 9 - Linha do tempo e história das Missões <i>Landsat</i> , iniciada em 1972. Fonte: Department of the Interior & Geological Survey.	28
Figura 10 - A configuração orbital Twin-Satellite SENTINEL-2 (cortesia Astrium GmbH). Fonte: SUHET, 2013.	29
Figura 11 - Os <i>drones</i> e a leitura PCD na Aveleda. (Fonte: Dinheiro vivo).	31
Figura 12 - Ciclo de Agricultura de Precisão. Adaptado de Bramley (2000).	33
Figura 13 - Plant Cell Density - Quinta de Celorico.	35
Figura 14 - (A) Sistema integrado entre LIDAR, servomotor e Placa AgIoT. (B) Conselho da AgIoT.	38
Figura 15 - Ciclo Vegetativo da videira. Fonte: Clube de Vinhos Portugueses.	41
Figura 16 – Glossário dos processos do ciclo da vinha.	44
Figura 17 – Conceitos relacionados com alguns elementos da vinha e processos da vitivinicultura.	45
Figura 18 - Evolução da área em que se insere a vinha em estudo durante o período de 2002-2015. Fonte: Google Earth.	46
Figura 19 - Vinha em estudo.	47
Figura 20 - Ocupação do solo da área em estudo.	48
Figura 21 - A) mapa hipsométrico; B) exposição das vertentes.	50
Figura 22 - Rede hidrográfica da área em estudo.	51
Figura 23 - Geologia da área em estudo.	52
Figura 24 - Normais climatológicas relativas à temperatura 1971-2000 Fonte: IPMA.	54
Figura 25 – Normais climatológicas relativas à Precipitação 1971-2000. Fonte: IPMA	54
Figura 26 - Metodologia de cálculo da produtividade na vinha em estudo.	57

Figura 27 - Cartografia da produtividade da vinha de Celorico de Basto: A) volume de colheita de uvas por cada ponto GPS, B) mapa referente à interpolação espacial do volume de colheita de uvas.....	59
Figura 28 - Cartografia da produtividade da vinha de Celorico de Basto: A) mapa referente à interpolação espacial do volume de colheita de uvas, B) mapa relativo à interpolação espacial do PCD. Perfil AA' exemplificativo da variação ao longo de um bardo do volume e do PCD.....	60
Figura 29 - Evolução da vegetação ao longo do ciclo da videira.	61
Figura 30 - Validação do mapa de produtividade da vinha com valores NDVI e PCD.	63

Índice de tabelas

Tabela 1 - Dados usados na investigação.	37
Tabela 2 - Ciclo da vinha (Outubro a Março)	42
Tabela 3 - Ciclo da vinha (Abril a Setembro)	43
Tabela 4 - Conversão das coordenadas geográficas (0 ‘ ‘’) em graus decimais para inserção nos SIG.....	58

Lista de abreviaturas

SIG - Sistemas de Informação Geográfica
GPS - Sistemas de Posicionamento Global
NDVI - Índice de Vegetação da Diferença Normalizada
PCD - Plant Cell Density
WGS - World Geodetic System
INESC TEC - Instituto de Engenharia de Sistemas e Computadores, Tecnologia e Ciência
USGS - Serviço Geológico dos Estados Unidos da América
NASA - Administração Nacional de Aeronáutica e Espaço (NASA)
VP - Viticultura de Precisão
GNSS - Global Navigation Satellite System
ESA - Agência Espacial Europeia

1. Introdução

O presente relatório de estágio é feito no âmbito do Mestrado de Sistemas de Informação Geográfica e Ordenamento do Território da Faculdade de Letras da Universidade do Porto. O estágio teve lugar no Instituto de Engenharia de Sistemas e Computadores, Tecnologia e Ciência - INESC TEC.

Com este relatório de estágio pretende-se retratar as principais atividades desenvolvidas durante o estágio, assim como demonstrar que os conhecimentos adquiridos durante a licenciatura e, principalmente durante o mestrado podem ser aplicados e desenvolvidos de forma prática.

O trabalho foca-se na aplicação dos Sistemas de Informação Geográfica para a elaboração de mapas de produtividade da vinha, isto, de forma a suportar e apoiar as decisões do enólogo e do produtor de vinhos. O tema surgiu pelo facto de eu residir numa área predominantemente agrícola e, por isso, optei por desenrolar o meu trabalho num tema relacionado com a agricultura numa perspetiva moderna e aliada ao avanço tecnológico, daí, a escolha do INESC TEC para estagiar.

Este trabalho pretende contribuir para a apresentação de uma solução de análise espacial que permita avaliar a produtividade de uma vinha durante a colheita. O método baseia-se num sensor instalado na máquina de colheita, capaz de medir o volume colhido em intervalos temporais/espaciais aproximadamente regulares, detetando a altura e a forma da uva/cacho e carga que vai sendo acumulada. Os dados coletados são processados e mapeados, de forma a que os produtores avaliam a produção e a sua variação espacial na vinha em análise, o que pode tornar o seu cultivo mais competitivo.

De entre as finalidades a atingir com a investigação desenvolvida e movidos pela questão de partida, o objetivo geral deste trabalho consiste, essencialmente, em entender de que forma os Sistemas de Informação Geográfica (SIG) contribuem para melhorar a eficácia dos métodos, processos e análise de dados geográficos e, sobretudo, como podem contribuir, no caso das vinhas, na ajuda de tomada de decisões dos enólogos e dos produtores.

Em termos mais específicos, teve-se como metas:

- Refletir e agilizar a recolha de dados no campo com as posteriores análises em SIG;
- Interpretar e analisar padrões geográficos que os dados de campo revelam sobre os processos de agricultura de precisão nas vinhas;
- Relacionar os dados de campo e padrões interpretados com outra informação geográfica relevante, como os dados provenientes de imagens de satélite (ex. parâmetro NDVI proveniente de imagens *Landsat* e *Sentinel*);

- Realizar um diagnóstico comparativo entre os dados de produtividade (Volume) e dos valores do vigor da planta (*Plant Cell Density*);
- Elaborar cartografia temática relativa aos dados recolhidos.

Este relatório está dividido em seis partes. A primeira parte corresponde ao enquadramento geográfico da área em estudo e às considerações gerais. A segunda parte explora o enquadramento teórico sobre o tema do relatório, por sua vez, a terceira parte equivale aos materiais e métodos onde são descritos os passos desde a colheita dos dados, a georreferenciação e as metodologias de processamento em SIG. A quarta parte caracteriza o ciclo da vinha e da vinha em análise nomeadamente a caracterização de alguns elementos naturais da vinha. A quinta parte aborda os mapas de produtividade, designadamente, a interpretação dos dados do volume, do índice de vegetação PCD (*Plant Cell Density*) que é utilizado para classificar o vigor na viticultura e do NDVI. O interesse de estimar o vigor da vinha usando a deteção remota está na sua influência na produtividade e na qualidade da uva e do NDVI (Índice de Vegetação da Diferença Normalizada) que é um índice de atividade fotossintética da planta. O NDVI é a razão entre a diferença do comprimento de onda infravermelho próximo e vermelho pela soma dos mesmos. Por fim, a sexta parte diz respeito à conclusão expondo as limitações do estudo e possíveis trabalhos futuros.

Este estudo é mais uma contribuição para que os viticultores e enólogos compreendam que existe uma variação de produção vinícola na mesma parcela e que reflitam sobre as causas dessa variabilidade.

1.1. Tarefas

O estágio realizado no Instituto de Engenharia de Sistemas e Computadores, Tecnologia e Ciência - INESC TE e pressupunha entender de que forma os Sistemas de Informação Geográfica (SIG) contribuem para melhorar a eficácia dos métodos, processos e análise de dados geográficos associados à agricultura de precisão, particularmente, nas vinhas.

- Realizar um diagnóstico comparativo entre diferentes tipos de coordenadas/tipo de ficheiro a usar para agilizar a recolha no campo e processamento e análise em gabinete;
- Elaborar análises geográficas e encontrar padrões que os dados geográficos recolhidos em campo venham a revelar;
- Elaborar cartografia temática relativa aos dados recolhidos;
- Relacionar os dados provenientes da recolha de campo com outras variáveis/dados geográficos, nomeadamente, dados provenientes de imagens de satélite (*Landsat e Sentinel*) e variáveis do território (exposição, declives, solo, entre outras);
- Redigir um relatório técnico-científico com os dados recolhidos e análise efetuadas, norteado pela aplicação dos SIG na agricultura de precisão, com a perspetiva do ordenamento do território.

CRONOGRAMA

	Outubro	Novembro	Dezembro	Janeiro	Fevereiro
Integração no grupo e reflexão sobre os dados geográficos a usar					
Análise e tratamento de dados geográficos	---	▶			
Elaboração de cartografia temática e exploração de dados/cartografia SIG associados à Agricultura de Precisão		---	▶		
Redação do Relatório Técnico-Científico					---▶

1.2. Enquadramento Geográfico

Celorico de Basto é um concelho do distrito de Braga, sub-região do Tâmega e é limitado a norte por Cabeceiras de Basto, a leste por Mondim de Basto, a sul por Amarante, a sudoeste por Felgueiras e a oeste por Fafe (Figura 1C).

Concelho do Norte de Portugal, sede de município e situado junto ao Rio Tâmega, é formado por vales férteis, possuidor de uma rica história e localizado num local de grande beleza natural, entre as Serras do Barroso e do Marão e o planalto de Montelongo (Celorico de Basto, 2019).

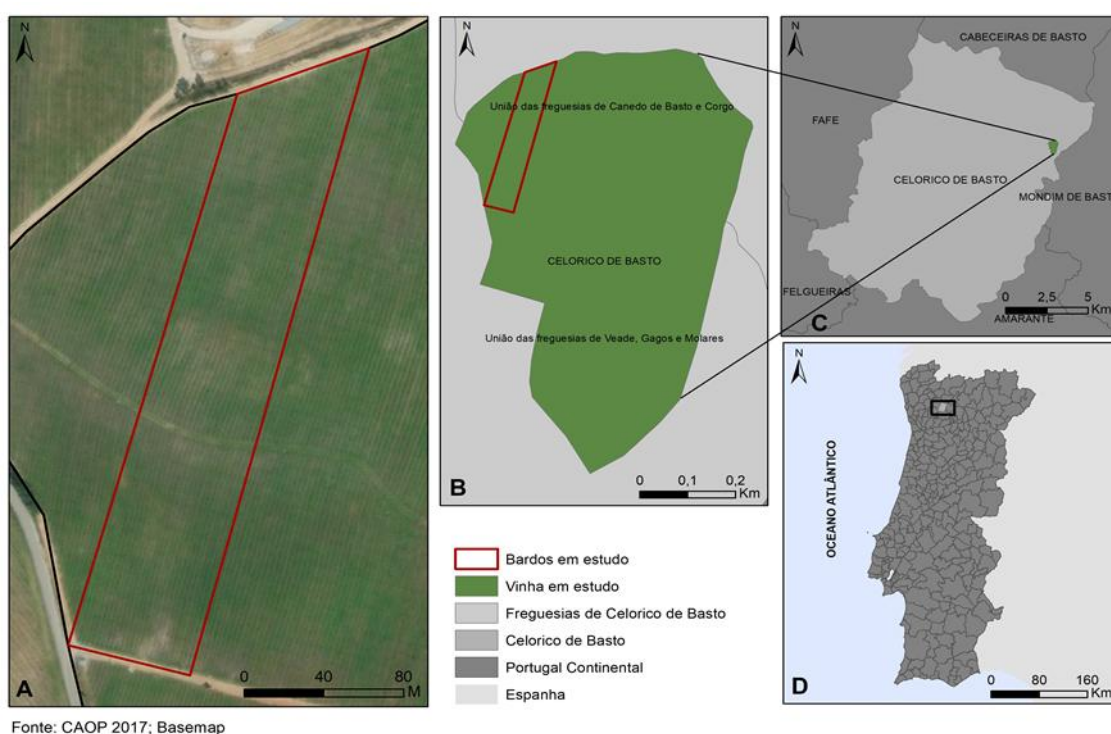


Figura 1 - Enquadramento geográfico da vinha em estudo.

Os maiores declives situam-se na parte central num sentido Norte-Sul, sendo a sua maior evidencia no vale da ribeira de Infesta. Também é de realçar os declives elevados existentes no limite Este do concelho, mais precisamente, no vale do rio Tâmega. (Comissão Municipal de Defesa da Floresta Contra Incêndios, 2015)

1.3. Considerações gerais

No setor agrícola, os SIG têm-se revelado fundamentais no estudo em planeamento e gestão da exploração. A sua aplicação em sistemas de Viticultura de Precisão é essencial, porque quase todas as tecnologias que auxiliam estes sistemas precisam de informação georreferenciada. Efetivamente, é a inserção dos SIG com diversas tecnologias, como o GPS, que permite criar uma estrutura complexa de dados, mas ao mesmo tempo intuitiva para o utilizador/agricultor.

Segundo Adam (2013), a perspetiva geográfica, em particular o uso de ferramentas e técnicas geográficas, que tem sido aplicada à viticultura e está atualmente a revolucionar a indústria internacional do vinho. Isso dá aos viticultores a capacidade de escolher melhor os locais para as futuras vinhas, fazer um inventário preciso das suas vinhas, bem como melhorar a qualidade da cultura e /ou quantidade para aumentar os lucros. As principais ferramentas e técnicas geográficas usadas para pesquisar viticultura são sistemas de posicionamento global (GPS), sistemas de informação geográfica (SIG) e a deteção remota. (Adam, 2013)

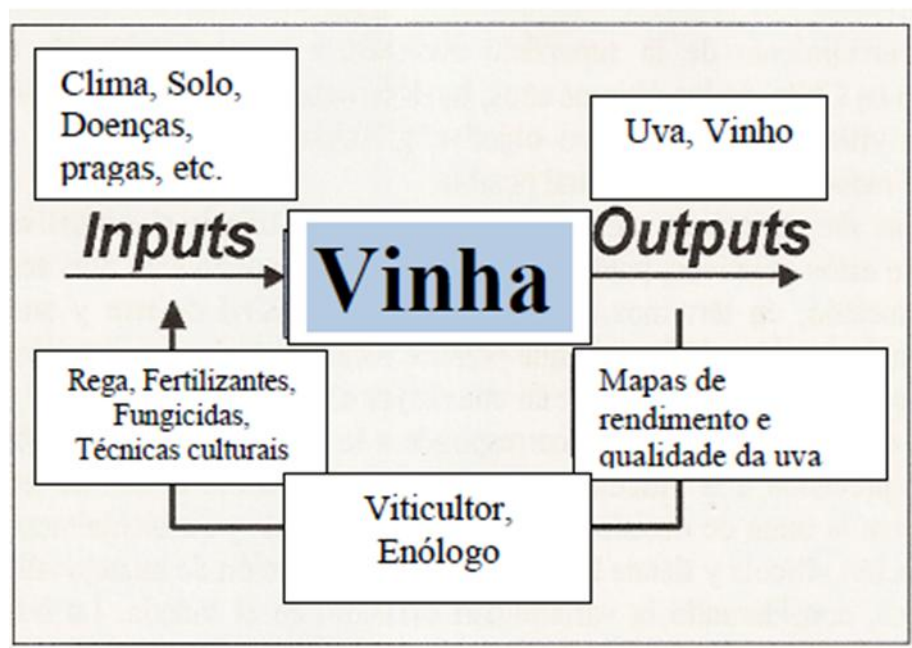


Figura 2 - Processo de entradas (*inputs*) e saídas (*outputs*). Adaptado de Corky & Bramley (1998). Fonte: (Sereno, 2009)

A viticultura de precisão, tal como a agricultura de precisão, pode ser entendida como a gestão da variabilidade temporal e espacial das parcelas com o objetivo de melhorar o rendimento económico da atividade agrícola, quer pelo aumento da produtividade e/ou qualidade, quer pela redução dos custos de produção, reduzindo também o seu impacto ambiental e risco associado. (Braga, 2009).

A viticultura de precisão (VP) tem como conceção a monitorização e gestão da variabilidade espacial de todas as variáveis físicas, químicas e biológicas que estão interligadas com a produtividade de uma vinha (Lamb, Hall, & Louis, 2001). A VP tem como principal objetivo controlar o sistema de produção através da identificação das zonas/parcelas diferentes na vinha e do fornecimento de meios que permitam que essas parcelas possam ser geridas separadamente. Para o efeito utiliza uma vasta gama de ferramentas e tecnologias que possibilitam aos técnicos uma tomada de decisão mais robusta e orientada. (Proffitt, Bramley, Lamb, & Winter, 2006)

Corky & Bramley (1998) descrevem a viticultura como um simples processo de entradas (“inputs”) e saídas (“outputs”) (figura 2). A VP através do conhecimento da variabilidade existente permite uma utilização mais eficiente dos “inputs” como a rega, fertilização e fitofármacos com base nos resultados obtidos nos “outputs” (uvas e vinho).

Viticultura de precisão é um conceito que desenvolveu um impacto no setor vitivinícola, não apenas na Austrália, Argentina, Chile, África do Sul ou EUA, mas também na Espanha e em outros países europeus como França e Portugal em particular.

Segundo Ricardo Braga em Portugal a atuação que tem suscitado maior interesse é a segmentação espacial da vindima, conhecendo previamente os mapas de qualidade da uva e definir lotes de qualidade distinta, bem como vindima-los em separado (Braga R. , 2009b).

Exemplo, da prática de viticultura de precisão foi no Monte da Ravasqueira (Lisboa), em 2012, que teve a necessidade de rever as suas práticas para garantir a produção dos melhores vinhos, a partir de vinhas existentes, plantadas em 2002. O objetivo foi atingir algo diferente, separando a priori as diferenças dentro da vinha, antes da uva chegar à adega, e conseguir essa separação com dados fiáveis e lógicos. Optaram, então, pelo mapeamento de NDVI (índice de vegetação), uma técnica que permite mostrar o potencial vegetativo de uma cultura (interação com a luz solar) e dar cores diferentes aos diferentes potenciais (figura 3). Esta separação possibilita a disponibilidade de uma gama de perfis de vinhos distintos e juntá-los, consoante o que se pretende, no final. A magia do enólogo não se perdeu e a feitura dos lotes só engrandeceu. A análise sensorial continuará a ser muito importante na constituição do produto final (Ravasqueira, 2017).

Quanto mais práticas de viticultura de precisão forem implementadas, mais melhorias podem ser feitas na gestão da vinha e na colheita, e sobretudo, mais benefícios podem ser obtidos. Portanto, *viticultura de precisão é um acumular contínuo de conhecimento, construindo sobre si mesmo, em que os indivíduos que implementam melhoram as suas habilidades em cada estação de crescimento* (Bramley & Lamb, 2003).



Figura 3 - Através da viticultura de precisão conseguir controlar a evolução da vinha planta a planta e conhecer o terreno de uma forma mais profunda. Fonte: Ravasqueira,2017.

2. Agricultura de Precisão: enquadramento teórico

2.1. Agricultura de Precisão

“A conexão do agricultor com o campo e o conhecimento das suas características específicas foram reduzidas com a mecanização e o aumento do tamanho da propriedade. Quando os mapas de produtividade foram criados, ficou provado que o rendimento e as propriedades do solo variavam consideravelmente dentro de um campo. Este facto marcou o desenvolvimento de técnicas específicas para o local.” (Pedersen & Lind, 2017)

A agricultura é mais um dos setores que evoluiu com os avanços da tecnologia, particularmente, nos últimos anos. A potencialização do setor agrícola passa pelo aumento de eficiência no trabalho e da adaptação aos novos sistemas de produção. É fundamental o uso dos novos padrões tecnológicos para incrementar a produção. A agricultura de precisão tem um forte potencial para funcionar como um meio que permite aos agricultores atingir os objetivos políticos, sociais e ambientais melhorando simultaneamente a eficiência e a competitividade. Pode, ainda, contribuir para a realização dos objetivos da política agrícola comum da União Europeia, integrando em grande escala em toda a Europa um conjunto de tecnologias avançadas que aumentarão a eficiência na utilização dos recursos, aumentando simultaneamente a qualidade e o rendimento das culturas.

“A tecnologia é utilizada para fazer uma análise detalhada de determinada área, avaliando o solo, o clima e outras variáveis que influenciam a produção agrícola” (Pinelli, 2015) (figura4), ou seja, procura explorar o solo, a aplicação de fertilizantes em diferentes quantidades, dependendo da necessidade de cada área, permitindo assim *“aplicar com exatidão os recursos necessários, de forma a maximizar a produção, reduzir as perdas e minimizar os efeitos ambientais.”* (Pinelli, 2015).



Figura 4 - Recolha de dados para avaliar a saúde da planta e para perceber como a produtividade evolui ao longo do tempo. Fonte: Mapatopogis.com

Como afirma Ricardo Braga (2018), *a tecnologia é importante, mas não é um fim em si. O que faz a diferença é sermos capazes de reunir diferentes fontes de dados e transformá-los em informação útil para a tomada de decisão do empresário agrícola. O essencial é saber usar os dados de forma a convertê-los de forma a obter, no futuro, melhores decisões sobre a produção.*

A gestão adequada dos dados agrícolas torna possível analisar e combinar dados sobre os solos, o clima, as variedades de cultivos e a manobra agrícola.

A Agricultura de Precisão tem como finalidade permitir que o trabalho de culturas seja direcionado de uma maneira que reconheça que, longe de ser homogênea, a produtividade da terra agrícola é inerentemente variável. É essencial para esta nova abordagem tecnologias, incluindo o posicionamento global sistema (GPS), sistemas de informação geográfica (SIG) e monitores que, quando usados em conjunto com o GPS, possibilitam registos de rendimento georreferenciados da colheita. Assim, os produtores são capazes de observar e desenvolver a compreensão da variabilidade da sua produção (Bramley & Hamilton, 2004).

Na agricultura de precisão, um dos usos do GPS passa pela condução de tratores e máquinas agrícolas. Hoje em dia, o método mais fidedigno de obter a uniformização na aplicação de fatores de produção é a utilização de sistemas de condução assistidos por GPS, contudo, o erro de posicionamento atual não os torna ainda indicados para operações de distribuição em linhas.

“A Agricultura de Precisão explora uma produção baseada na caracterização e conhecimento dos recursos, do ambiente e da resposta das culturas e visa a otimização do uso dos fatores de produção no sentido de aumentar a sustentabilidade do negócio agrícola. Ao ajudar a melhorar a eficiência de uso dos fatores estará a aumentar a resiliência das explorações agrícolas.” (Braga, 2018)

Ricardo Braga (2018), também apresenta uma lista de princípios base sobre a agricultura de precisão, a saber: é considerada um processo e não uma tecnologia; o foco deve estar nos dados, na informação e no conhecimento, não na tecnologia; a adoção deve começar pelo registo e colheita de dados; apenas se deve passar à fase de atuação diferenciada após extenso conhecimento das causas da variabilidade; deve atuar sempre na causa e não no resultado; o objetivo da Agricultura de Precisão não deve ser homogeneizar a carta de produtividade, mas maximizar retornos financeiros e atuar sempre atendendo à racionalidade económica e ao risco.

Segundo Cook & Bramley (1998), agricultura de precisão é o termo dado a métodos de gestão de culturas que reconhecem a variabilidade espacial e temporal da parcela no sistema que envolve solo, planta e atmosfera. No entanto a agricultura de precisão é um processo cíclico e contínuo, onde a observação, interpretação, avaliação e implementação estarão sempre presentes (Bramley & Cook, 1998).

A adoção de tecnologias para sistemas agrícolas sustentáveis é uma questão desafiadora e dinâmica para os agricultores. Os desafios da agricultura de precisão passam pelos meios tecnológicos utilizados como os *drones*, robôs, GPS, assim como as questões de controlo tecnológico, segurança humana e responsabilidade civil.

Segundo Pedersen & Lind (2017), várias tecnologias relacionadas com a agricultura de precisão emergiram de sistemas GPS, mapas de produção e sensores inteligentes. Estes sistemas devem, idealmente, permitir que o agricultor aumente o rendimento, poupe nutrientes e substitua tempo de trabalho por sensores eficientes e sistemas de apoio à decisão que aumentem a lucro e reduzam o impacto ambiental (Pedersen & Lind, 2017).

A maior parte da deteção remota das culturas na Agricultura de Precisão é realizada através de imagens de satélite para envolver grandes áreas num curto espaço de tempo. Atualmente, as imagens de satélite *Sentinel*, com uma resolução de 10×10 m por *pixel*, estão disponíveis gratuitamente para os agricultores. Estas imagens de satélite permitem aos agricultores e técnicos realizar análises a partir de mapas de Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI) (figura 5).

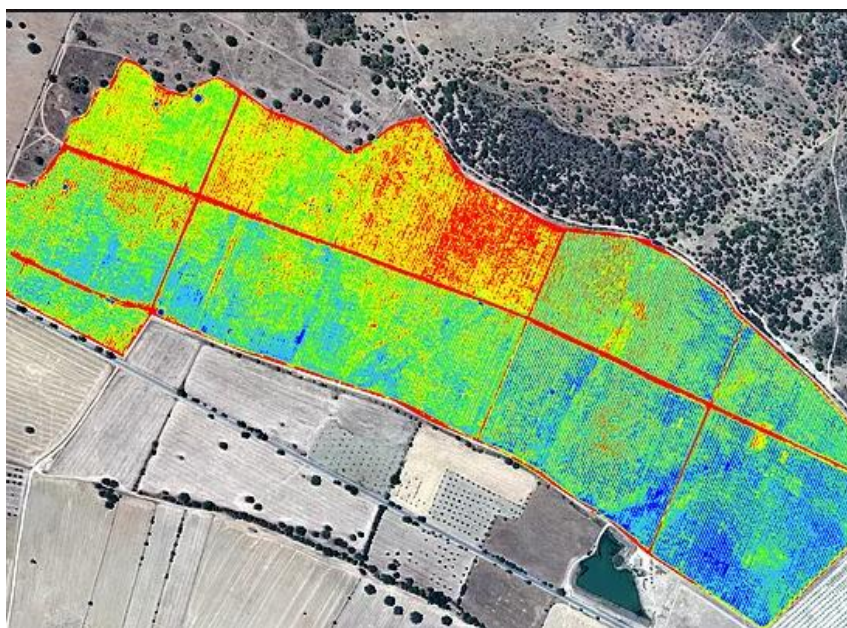


Figura 5 - O NDVI permite identificar a variabilidade espacial do vigor vegetativo numa cultura.
Fonte: TerraPro technologies.

Os SIG subsistem na capacidade de manipular informação com base em atributos espaciais. Esta capacidade de relacionar camadas de dados através de atributos georreferenciados comuns, permite combinar, analisar e, finalmente,

cartografar os resultados. No sector agrícola, os SIG têm vindo a ser cada vez mais usados em planeamento e gestão a nível regional e da exploração (Coelho & Silva, 2009).

O processo da Agricultura de Precisão inclui as seguintes fases: - recolha e processamento da informação (sua conversão em formato digital); - análise dos dados digitalizados; - tomada de decisão em função da análise dos dados; - execução das operações, de acordo com as variações no tempo e espaço (figura 6) (Santos, 2016).

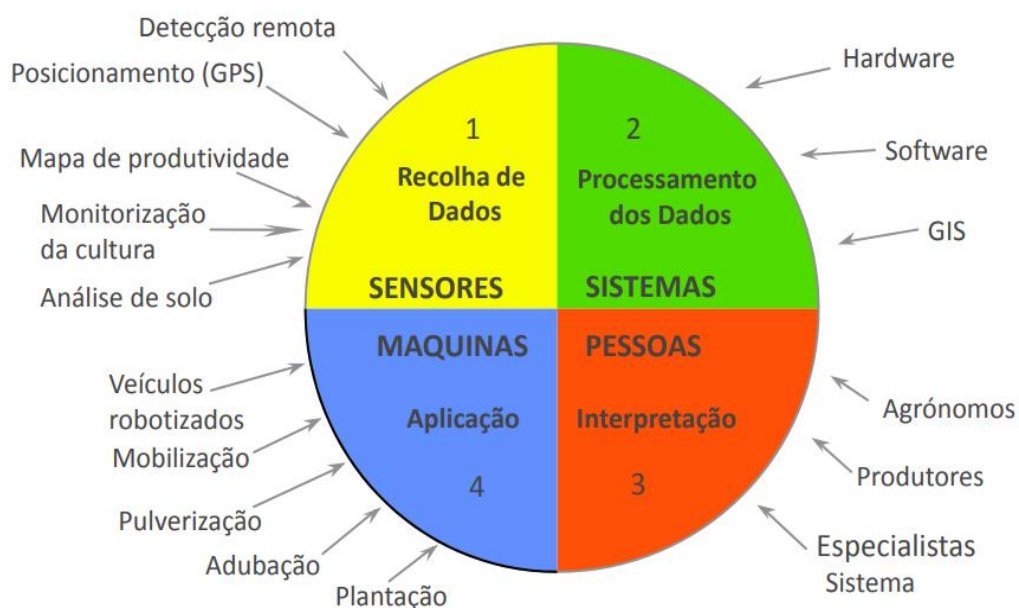


Figura 6 – Fases da Agricultura de Precisão. Fonte: Santos, 2016

Como refere Ricardo Braga (2009), o aumento da competitividade do setor da Vinha é fundamental para a evolução da agricultura. As plantações da vinha, mesmo quando cultivadas com a mesma casta em toda a sua área, não são iguais no espaço. As fontes de variação com maior relevância na produção e qualidade das uvas são o tipo de solo, a orientação do declive e os padrões de drenagem. (Braga, 2009)

A vinha como cultura agrícola também tem assistido nestes últimos anos a um aumento exponencial da utilização de tecnologias, com vista à monitorização e caracterização da variabilidade espacial das variáveis relacionadas com o vigor, rendimento e qualidade.

A deteção remota tal como a robótica agrícola são tecnologias, hoje muito utilizadas em viticultura de precisão, que permitem uma melhor caracterização de cada

ciclo vegetativo, ajudando o viticultor e o enólogo a melhorarem os seus conhecimentos da vinha e das uvas e possibilitam um aumento da competitividade das empresas.

2.1.1. Robótica Agrícola

Os robôs agrícolas tornaram-se uma tendência recente na agricultura, com muitas aplicações comerciais e de pesquisa já implementadas, o que causou uma crescente consciencialização e iniciou o desenvolvimento de robôs agrícolas em todo o mundo (figura 7).

Os robôs agrícolas têm vantagens em termos de flexibilidade, adaptabilidade e benefícios ambientais em comparação com máquinas agrícolas tradicionais e representam um grande trunfo para a agricultura de precisão. Muitos avanços na visão mecânica com câmaras de imagem e espectrais para detetar ervas daninhas, pragas e doenças permitiram um maior apoio e controlo de futuras decisões. Em termos gerais, eficiência energética e autonomia são os principais problemas para os robôs agrícolas nos dias de hoje.

O desenvolvimento de instrumentos computacionais, de diversos sensores que permitem a monitorização ambiental, da robótica, de novos meios de telecomunicação rápida e acessível permitiram concretizar as hipóteses de gestão da agricultura de precisão, que, até então, estavam apenas no domínio da imaginação, ou, na melhor das hipóteses, da ficção científica. (Coelho & Silva, 2009).



Figura 7 - Robótica para Agricultura e Silvicultura. Fonte: agrob.inesctec.pt

2.1.2. Deteção remota

O recente desenvolvimento da deteção remota fornece um meio potencial para a aquisição eficiente de informação necessária para a agricultura de precisão.

Deteção remota pode ser definida como o processo de recolha de informação de áreas e objetos sobre ou próximos da superfície terrestre, por um sensor de radiação eletromagnética colocado acima da mesma superfície terrestre (Coelho & Silva, 2009).

Esta deteção é realizada de três formas, ou seja, via drone (entenda-se veículos autónomos aéreos), avião ou satélite. Os parâmetros fisiológicos e bioquímicos da vegetação determinam as características de absorção, dispersão e reflexão em diferentes comprimentos de onda, que formam a base para a deteção remota agrícola. (Braga, 2009)

A indústria do vinho é um exemplo de alto valor produção que beneficiou da deteção remota.

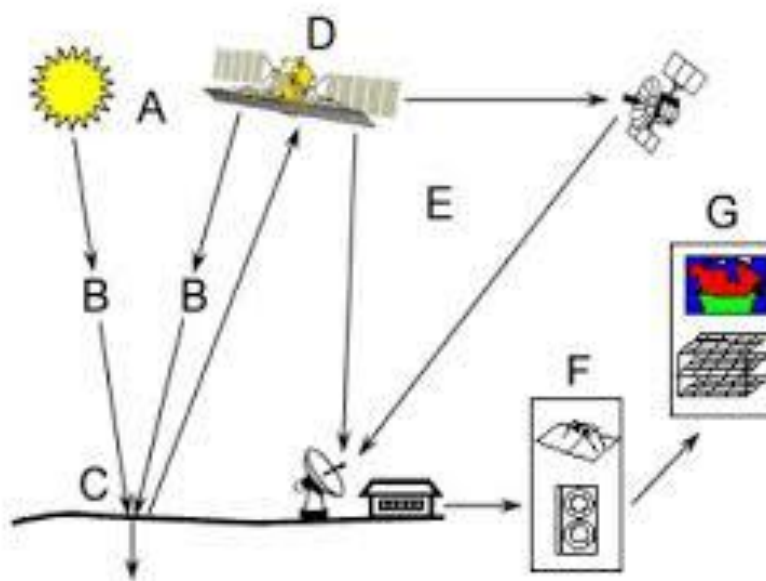


Figura 8 - Esquematisação da deteção remota Fonte: Spencer, 2011.

Como a figura 8 ilustra, na deteção remota interferem diversos fatores, com a fonte de radiação eletromagnética (A) podendo ser o sol, a radiação e atmosfera (B), a interação (C) ou alvo, o Registro (D) da energia pelo captor ou recetor, Transmissão Receção e processamento (E) onde a energia é gravada pelo captor e através de meios de telecomunicações é transmitida a uma estação de receção que transforma a informação em imagem, a Interpretação e análise (F) com a criação de mapas e a aplicação (G). (Spencer, 2011)

A detecção remota é fundamental na viticultura de precisão porque permite a realização de mapas de qualidade/vigor da uva, a análise do estado vegetativo das vinhas, mapear as parcelas e a localização de falhas.

2.1.3. Satélites (*Landsat e Sentinel*)

O *Landsat* é um esforço conjunto do Serviço Geológico dos EUA (USGS) e a Administração Nacional de Aeronáutica e Espaço (NASA). Os dados são vantajosos para diversas aplicações, incluindo silvicultura, agricultura, geologia, planejamento regional e educação.

A NASA desenvolve instrumentos de detecção remota e lança e valida o desempenho dos instrumentos e satélites. O USGS adota a propriedade e operação dos satélites, além de gerir toda a recepção terrestre, o arquivamento de dados, geração de produtos e distribuição de dados.

Em meados da década de 1960, estimulado pelos sucessos norte-americanos em exploração utilizando satélites de detecção remota não tripulados, o Departamento do Interior, NASA e o Departamento da Agricultura embarcou num esforço ambicioso para desenvolver e lançar o primeiro satélite civil de observação da Terra. O objetivo foi alcançado em 23 de julho de 1972, com o lançamento dos Recursos da Terra Satélite Tecnológico (ERTS-1), que foi posteriormente renomeado Landsat 1. Os lançamentos do Landsat 2, Landsat 3 e Landsat 4 ocorreram em 1975, 1978 e 1982, respetivamente. Quando o Landsat 5 foi lançado em 1984, ninguém poderia prever que o satélite continuaria a fornecer dados globais de alta qualidade da Terra durante 28 anos e 10 meses, estabelecendo oficialmente o Recorde Mundial do Guinness para “observação da Terra com operação mais longa satélite.” O Landsat 6 não conseguiu atingir a órbita em 1993; contudo, o Landsat 7 foi lançado com sucesso em 1999 e continua a fornecer dados globais. O Landsat 8, lançado em 2013, continua em missão, e o Landsat 9 está a ser desenvolvido para uma data de lançamento em dezembro de 2020 (figura 9) (Department of the Interior & Geological Survey, 2016).

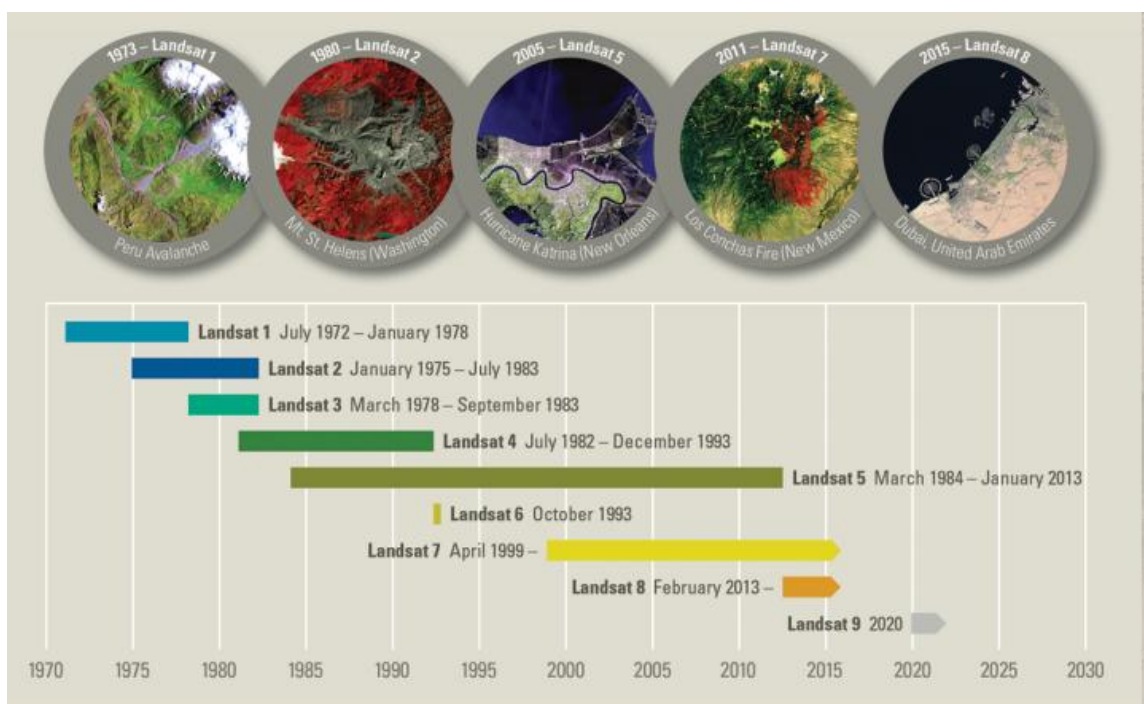


Figura 9 - Linha do tempo e história das Missões *Landsat*, iniciada em 1972. Fonte: Department of the Interior & Geological Survey.

A consistência das aquisições de dados do Landsat ao longo dos anos e a riqueza do arquivo, combinado com os dados sem custo permitiram que os usuários explorassem séries temporais de dados por meio de áreas geográficas para estabelecer tendências de longo prazo e monitorar taxas e características da mudança da superfície terrestre. (Department of the Interior & Geological Survey, 2016)

Copernicus em parceria com a Agência Espacial Europeia (ESA), é um programa de observação da Terra que proporciona informações precisas e de fácil acesso para melhorar a gestão do ambiente. A ESA desenvolve a família de satélites, denominada *Sentinels*, especificamente para as necessidades operacionais do programa *Copernicus*.

Sentinel-1 fornece todas as condições meteorológicas e imagens de radar noturnas para terra e oceano;

Sentinel-2 fornece alta resolução de imagens óticas para serviços terrestres;

Sentinel-3 fornece alta precisão de dados óticos, de radar e altimetria para serviços marinhos e terrestres;

Sentinel-2A proporciona imagens de alta resolução a partir do mar Báltico com 10 m de resolução espacial;

Sentinel-4 e *Sentinel-5* fornecem dados para monitoramento da composição atmosférica da órbita geoestacionária e da órbita polar. (ESA, 2019)

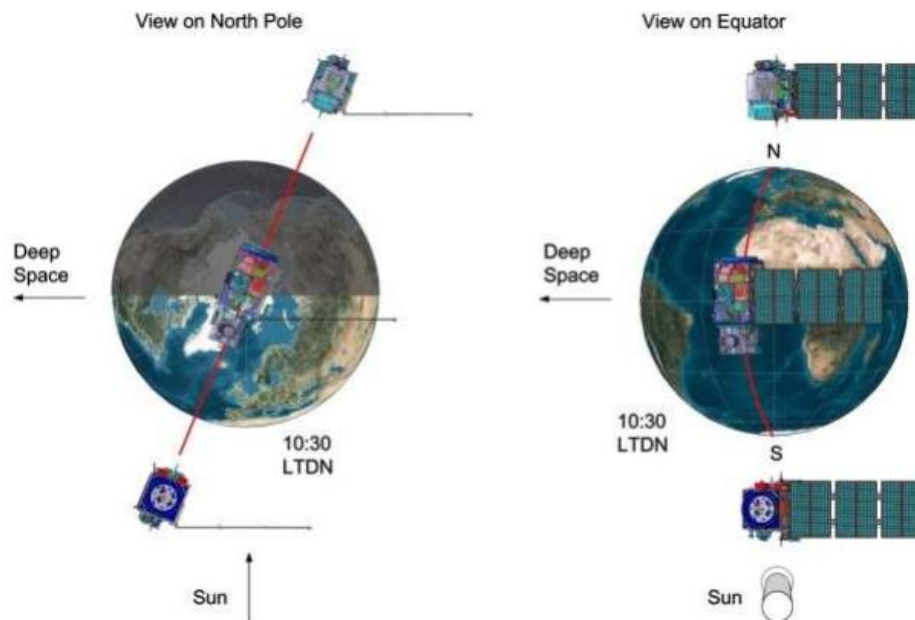


Figura 10 - A configuração orbital Twin-Satellite SENTINEL-2 (cortesia Astrium GmbH). Fonte: SUHET, 2013

O Sentinel-2 é uma missão de imagem multiespectral, de alta resolução e grande alcance na Europa. É um instrumento ótico que contém 13 bandas espectrais: quatro bandas a 10 m, seis bandas a 20 m e três bandas a 60 m de resolução espacial (figura10).

Os objetivos da missão do Sentinel-2 são: fornecer aquisições globais sistemáticas de imagens multiespectrais de alta resolução; dar continuidade às coleções de imagens multiespectrais fornecidas pela LANDSAT; providenciar dados de observação para a próxima geração de produtos operacionais, tais como mapas de detecção de mudança da terra e variáveis geofísicas. As bandas espectrais de Sentinel-2 fornecem dados para classificação da cobertura / mudança do solo, correção atmosférica e separação de nuvens / neve. A missão do Sentinel-2 fornecerá apoio aos serviços de monitoramento da terra e, com a sua capacidade de dois satélites, assegurará cobertura frequente e sistemática para apoiar o mapeamento de mapas de cobertura, classificação e alteração do solo e uma avaliação precisa da biogeofísica (SUHET, 2013).

2.1.4. Drones

A tecnologia, sejam computadores, sistemas de geolocalização (GPS), tecnologias de controlo, redes de informação e, agora, cada vez mais, os *drones* estão presentes no setor agrícola. No caso dos *drones*, as pequenas aeronaves controladas à distância estão a tomar conta do espaço aéreo das plantações um pouco por todo o mundo. Assim sendo, *“os drones” podem servir para transportar sensores que captam a radiação emitida pelas culturas em diversos comprimentos de onda (no caso da agricultura) ou simplesmente para captar fotografias aéreas no espectro do visível”*, adianta Ricardo Braga. No setor agrícola, a vitivinicultura foi pioneira na utilização deste tipo de serviço para melhorar não só a rega e a fertilização como também a própria vindima. Os *drones* são o equipamento mais mediático associado à agricultura de precisão e permite de facto uma análise muito pormenorizada das parcelas, permitindo que o olhar do produtor sobrevoe a sua cultura e detetar zonas críticas (Braga & Noéme, 2015).

O *drone* é a mais recente ferramenta de apoio para agricultura de precisão, pois esta enfrenta o desafio de produzir cada vez mais, com eficiência e sustentabilidade. O uso dos *drones* na agricultura permitiu ampliar a colheita e melhorar o controlo da produção.

Na sua aplicação básica, com o registo de fotos convencionais, um *drone* permite que um produtor ou proprietário rural faça avaliações visuais da evolução da produção, detetar falhas na plantação ou na adubação, etc. Através de câmaras e recursos mais avançados, um *drone* pode substituir aviões ou satélites na produção de fotos georreferenciadas de propriedades rurais. As imagens e os dados fornecidos pelos *drones* permitem ao produtor rural gerar mapas topográficos e modelos de escoamento, medir a altura das plantas e condições gerais da plantação, localizar plantas daninhas, infestações de pragas e até mesmo detetar deficiências de macronutrientes (Mesquita, 2014) (figura11).

Os *drones*, um tipo específico de UAVs (veículos aéreos não tripulados), são potencialmente a solução ideal para curto prazo. Quatro vantagens importantes dos *drones* em relação a outros sistemas são a estabilidade em voo (especialmente comparado com os helicópteros), controle preciso e capacidade de seleccionar resolução espacial variando a altura do voo (comparado a outros sistemas de deteção remota).



Figura 11 - Os drones e a leitura PCD na Aveleda. (Fonte: Dinheiro vivo).

Avanços na tecnologia, juntamente com o desenvolvimento de sistemas globais de navegação e geoprocessamento, estão a possibilitar uma maior aplicação de drones na agricultura. São relativamente baratos e de fácil utilização. Apresentam sensores e recursos de imagem cada vez mais avançados, auxiliam no aumento de produtividades e ajudam a reduzir danos nas produções, uma vez que possibilitam o monitoramento em tempo real (Robrigo, 2016).

Por sua vez, os drones têm como principais desvantagens a baixa capacidade de carga, autonomia de voo limitada e falta de legislação clara que defina as condições de voo permitidas. (Barreiro & Valero, 2014)

2.2. Viticultura de Precisão

A imagem do país e dos vinhos portugueses melhorou, com reflexo nas exportações, mas o principal desafio do vinho português é conseguir uma perceção de valor que permita o aumento do preço médio (Portugal Global, 2018).

Portugal exportou, em 2018, mais de 803 milhões de euros em vinhos, uma aumento de 3% face ao ano anterior, no entanto, houve uma ligeira redução das vendas em volume, que se ficaram pelos 2,966 milhões de hectolitros. (Instituto da Vinha e do Vinho, 2019)

Tal como a Agricultura de Precisão, a viticultura de precisão define-se como o uso de tecnologias de informação para a tomada de decisões económicas e ambientais adequadas para a produção vitícola, com tendência para a aplicação diferenciada de

fatores de produção, tendo em consideração a variabilidade existente na vinha (Esser, Ortega, & Santibáñez, 1998).

A reserva de água, o tipo de solo, a orientação do declive e os padrões de drenagem contribuem para a variabilidade da produção e da qualidade das uvas. Do mesmo modo, a qualidade das uvas também varia no espaço dentro da mesma parcela.

Neste sentido, a viticultura de precisão resulta do impacto da “revolução da informação” com a disponibilização de elevadas quantidades de dados a preço cada vez mais reduzido (Braga, 2009).

Segundo Ricardo Braga, *a adoção da viticultura de precisão dependerá do objetivo inicial de cada exploração vitivinícola e o seu contexto no mercado. Com efeito, a gestão da variabilidade pode ser orientada para garantir uma maior estabilidade do produto produzido de ano para ano; a manutenção de um registo de monitorização técnica e ambiental de modo a garantir uma maior rastreabilidade do processo produtivo; a utilização mais eficiente dos recursos face a objetivos de produção; a identificação de zonas de produção de uvas com potencial para vinhos topo de gama (Braga, 2009).*

No setor do vinho valoriza-se muito a qualidade mas os proprietários agrícolas não apostam apenas na qualidade mas também no fator da produtividade. Nomeadamente, a monitorização da produção é essencial na viticultura de precisão por causa, sobretudo, da variabilidade de cada parcela. Os monitores de produtividade para vindimadoras são constituídos por um GPS que regista e armazena os dados e por um sensor de produtividade. Uma grande vantagem da viticultura de precisão é a distinção de lotes de uvas de qualidade diferente dentro da mesma parcela que depois de vindimadas separadamente permitem diferenciar a qualidade da uva na adega. A qualidade do vinho provém do nível de maturação da uva e esta fase é influenciada por fatores como o solo e a disponibilidade de água que provocam uma diversidade na qualidade da uva na mesma parcela.

É de grande interesse para os produtores de vinho a oportunidade de usar a Agricultura de Precisão como um meio de assegurar uma colheita seletiva que significa dividir a colheita de uvas de acordo com diferentes critérios de rendimento / qualidade, a fim de explorar a variação observada (Bramley & Hamilton, 2004).

O surgimento de sistemas de posicionamento global (GPS) permitiu que as medições tradicionais no local de parâmetros físicos, químicos e biológicos associados com a produtividade da videira agora possam ser mais facilmente ligados a localizações específicas dentro de uma vinha. Essa informação, quando usada em conjunto com os sistemas de informação geográfica (SIG), fornece aos viticultores a capacidade de processar e mapear fatores e fazer a gestão de decisões baseadas em numerosas camadas de informação (Hall, Lamb, Holzapfel, & Louis, 2002) (figura 12).



Figura 12 - Ciclo de Agricultura de Precisão. Adaptado de Bramley (2000).

Os vinhedos apresentam uma variabilidade espacial natural. Diferentes respostas das videiras são encontradas em diferentes zonas, e estas podem ser explicadas por uma série de parâmetros, físico (topografia, propriedades do solo, etc.) ou gestão (poda, sistema de formação, irrigação, fertilização, etc.) (Smit, Sithole, & Strever, 2010).

2.2.1. Índices de vegetação

Os índices de vegetação são construídos com base na informação obtida através de imagens multiespectrais (imagens resultantes da reflexão espectral nos diferentes comprimentos de onda, especificamente nas bandas do Azul, Verde, Vermelho e infravermelho próximo) e reduzem assim os dados fornecidos pelo espectro (cada pixel) num valor numérico, têm vindo a ser muito desenvolvidos para realçar as alterações na condição da vegetação (Wiegand, Richardson, Escobar, & Gerbermann, 1991).

Atualmente a agricultura beneficia com a evolução obtida pela indústria aeroespacial e militar. Desde então, a utilização de índices de vegetação tornaram-se comuns na agricultura de precisão, especialmente o NDVI.

O NDVI (Índice de Vegetação da Diferença Normalizada) é um índice de atividade fotossintética da planta. Os índices de vegetação baseiam-se na observação de diferentes superfícies que refletem diferentes tipos de luz de forma diferente. A vegetação fotossinteticamente ativa absorve a maior parte da luz vermelha enquanto reflete grande parte da luz do infravermelho próximo. O NDVI é a razão entre a diferença do comprimento de onda infravermelho próximo e vermelho pela soma dos mesmos:

$$\text{NDVI} = (\text{IVpróximo} - \text{Vermelho}) / (\text{IVpróximo} + \text{Vermelho})$$

“O valor do índice varia de -1 a 1, em que uma vegetação saudável terá um NDVI próximo de 1 e um solo totalmente descoberto ou qualquer área sem presença de material vegetal terá um NDVI de -1. Ou seja, este é o indicador mais utilizado na medição da biomassa e vigor das plantas, onde plantas de elevado vigor e conforto apresentarão com valor de NDVI próximo da unidade, ao contrário de uma planta de baixo vigor que apresentará um valor muito próximo do zero” (Hall, Lamb, Holzapfel, & Louis, 2002).

O NDVI é um produto que permite a transformação, uma vez que, a partir de uma imagem inicial, é obtida uma imagem completamente nova através de uma fórmula matemática aplicada a cada *pixel*.

A presença de problemas nutricionais, o estado do *stress* hídrico ou o estado de saúde da planta podem ser inferidos com base nos cálculos do NDVI.

A utilização desta informação remota permite a diferenciação, dentro das parcelas da vinha, de áreas de diferente vigor (Arnó, Martínez-Casasnovas, Ribes-Dasi, & Rossel, 2009).

Para além do NDVI, existem outros índices de vegetação utilizados na viticultura de precisão como o *Plant Cell Density* [$\text{PCD} = (\text{infravermelho próximo}) / (\text{vermelho})$]; *Photosynthetic Vigour Ratio* [$\text{PVR} = (\text{verde}) / (\text{vermelho})$]; *Plant Pigment Ratio* [$\text{PPR} = (\text{verde}) / (\text{azul})$] e o *Plant Senescence Reflectance Index* [$\text{PSRI} = (\text{vermelho} - \text{verde}) / (\text{infravermelho próximo})$].



Figura 13 - Plant Cell Density - Quinta de Celorico.

O PCD é um índice de densidade de células com plantas e é calculado com base na razão entre o reflexo no Infravermelho próximo e o vermelho (NIR/R). Este índice é

semelhante ao NDVI, no sentido que apresenta a diferença entre valores de reflexão no infravermelho próximo (NIR) e os baixos valores na banda do vermelho.

O índice de vegetação PCD (*Plant Cell Density*) é utilizado para classificar o vigor na viticultura. O interesse de estimar o vigor da vinha usando a detecção remota está na sua influência na produtividade e na qualidade da uva (figura 13).

2.2.2. Métodos para calcular a produtividade

Os mapas de rendimento permitem aos produtores de vinho ter a capacidade de identificar áreas de rendimento diferentes e, em alguns casos, diferentes atributos de qualidade dos frutos (Gultekin, Abdullah, & Fatih Goksel, 2017).

Os métodos baseados em componentes de rendimento da videira são a base das abordagens mais populares para a previsão do rendimento da videira (Cunha, Ribeiro, & Abreu, 2015).

Tal abordagem requer gráficos intrínsecos de inspeção manual do número de cachos por cipó e o número de frutos por cacho, geralmente amostrados no período determinado pela fruta. A precisão da análise é dependente da qualidade da amostra, que geralmente é condicionada por requisitos de mão-de-obra e custos, especialmente quando se trata de grandes áreas (Dunn, 2010). A análise da produção da colheita possibilita observar aspetos de fisiologia e o desenvolvimento da vinha.

Devido aos requisitos de complexidade e dados dos modelos de simulação para a videira, muitos estudos anteriores favoreceram o uso de métodos de regressão empírica baseados em dados climáticos (chamados modelos agrometeorológicos) para prever a produção de vinho. Nos últimos anos, vários modelos de previsão de produção de videira foram desenvolvidos com base em várias técnicas, como o processamento de imagens para detecção e classificação de uva e bagas em vinhas (Nuske et al, 2014), método em tempo real indireto para previsão de produção de uva baseado em monitores de tensão de treliça (Blom & Tarara, 2009) ou mesmo requisitos de imagens de satélites. (Cunha, Marcal, & Silva, 2010) Um modelo de previsão de vinho baseado em pólen atmosférico, condições agronómicas e de clima após o florescimento, mostrou bons resultados nas principais regiões vinícolas do norte de Portugal (Cunha, Ribeiro, & Abreu, 2015).

3. Materiais e métodos

3.1 Materiais

Para realizar este trabalho, foram disponibilizados dados provenientes de uma vindimadora, na qual foi previamente instalado um sensor de volume. Os dados o sensor são referentes à colheita da vinha em estudo localizada em Celorico de Basto.

Estes dados foram obtidos durante a colheita do dia 6 de setembro de 2018, e o sensor executou o registo do volume colhido, aproximadamente, a cada 2-3 metros de intervalo.

Os materiais utilizados (tabela 1) para o desenvolvimento deste trabalho foram:

- Dados do sensor de volume cedidos pelo INESC TEC – coordenadas dos pontos de colheita e respetivo volume de colheita;
- Dados cedidos pela Quinta da Aveleda – dados do *Plant Cell Density*;
- Imagens do satélite *Sentinel*;
- Carta Geológica de Portugal 25K;
- Carta Geológica (folha 10A);
- Carta de ocupação do solo.

Todo o trabalho de organização e processamento destes dados, assim como a produção dos resultados foi elaborado nos *softwares* ArcGis 10.6 e Microsoft Excel 97-2003.

Tabela 1 - Dados usados na investigação.

	Tipo	Tamanho pixel	Fonte
Imagens do satélite Sentinel	Raster	10m	Copernicus Open Access Hub
Carta Geológica de Portugal 25K	Vetorial	---	Direção Geral de Geologia e Minas
Carta Geológica (folha 10A)	Raster	---	Direção Geral de Geologia e Minas
Carta de Ocupação do solo (1990/ 2010/2015)	Vetorial	---	Direção-Geral do Território
Dados da colheita (06/09/2018)	Vetorial	---	INESCTEC
Plant Cell Density (2018)	Raster	8cm	Grupo Aveleda

3.1.1 AgIoT – Hardware

Os dispositivos para avaliar a produtividade para vindimadoras são constituídos por um GPS que regista e armazena os dados e por um sensor de produtividade. Os pontos da colheita foram obtidos por um sensor juntamente com o Módulo AgIoT, permitindo, dessa forma, o registo da produtividade. O Módulo AgIoT é uma solução de IoT modular e de código aberto para o domínio agroalimentar. O Módulo AgIoT com Sensor Add-on permitirá atualizar as máquinas e ferramentas agrícolas para obter informações sobre as culturas adquiridas, como por exemplo, a colheita. Essas tecnologias baseadas em IoT (Internet of Things) modulares e de fonte aberta (AgIoT) podem atualizar as máquinas convencionais com tecnologias de taxa variável relevantes para pequenos agricultores para alcançar níveis mais altos de precisão durante os tratamentos de fertilização e pulverização (INESCTEC, 2019).

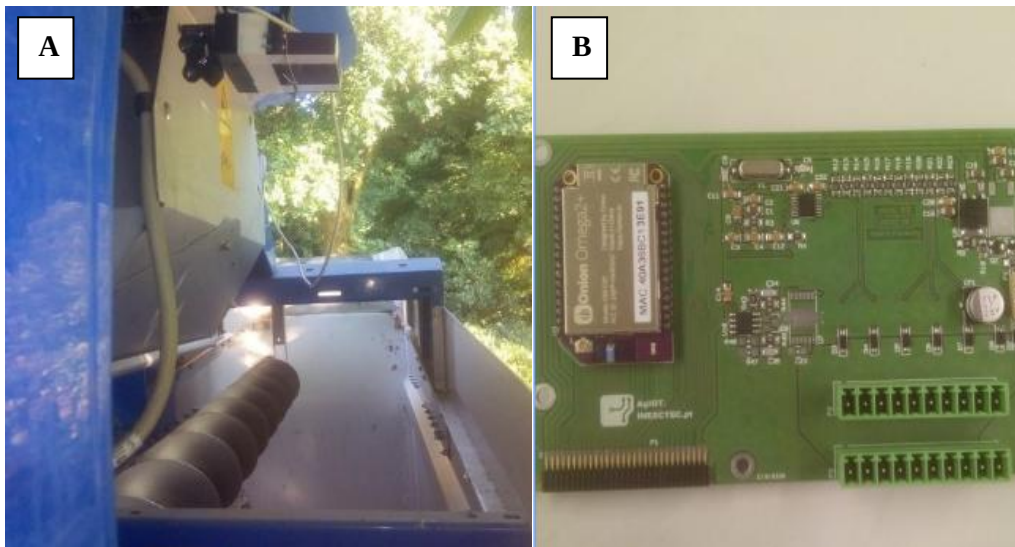
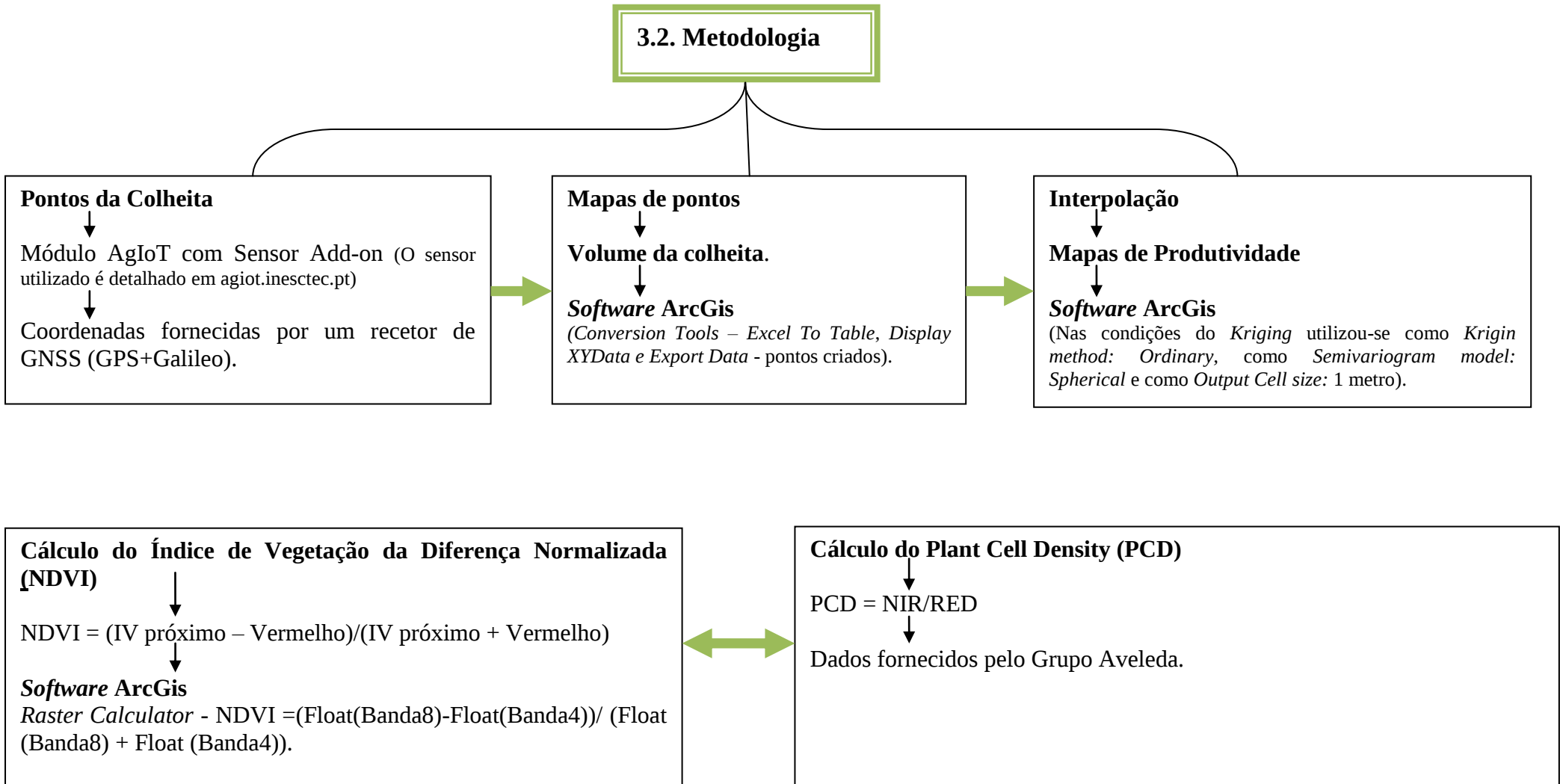


Figura 14 - (A) Sistema integrado entre LIDAR, servomotor e Placa AgIoT. (B) Conselho da AgIoT.

3.2. Metodologia



Os pontos da colheita foram obtidos por um sensor instalado na vindimadora que registava o valor da colheita a cada 2-3 metros de intervalo, e ao mesmo tempo georreferenciava os pontos de colheita utilizando as coordenadas fornecidas por um recetor de GNSS (GPS+Galileo). Com esses dados, procedeu-se à elaboração do mapa de pontos que permite ter uma noção da variação da quantidade da colheita por ponto, ou seja, o volume da colheita: esta tarefa foi conseguida através das ferramentas *Conversion Tools – Excel To Table, Display XYData e Export Data* em que foram criados os pontos.

Posteriormente, de modo a obtermos uma visão da variabilidade da produtividade da colheita na parcela, procedeu-se à interpolação dos dados por intermédio da ferramenta *Kriging*. Isto permitiu, mediante a utilização dos pontos com valores conhecidos estimar valores para a área onde os pontos se distribuem. Por conseguinte, produziram-se mapas de produtividade, respeitando as seguintes condições do *Kriging* como *Krigin method, o Ordinary*; no *Semivariogram model, o Spherical* e como *Output Cell size: 1 metro*, dado que as videiras se encontram afastadas regularmente cerca de um metro e o afastamento médio entre pontos de GPS raramente excede os 2-3 metros.

Depois de realizada a análise da produção do volume colhido na vinha em estudo, procedeu-se ao *download* de imagens satélite do *Sentinel 2* do *Copernicus Open Access Hub*. Estes dados permitiram relacionar os dados provenientes da recolha de campo com a variável NDVI, a qual permite analisar a condição da vegetação no campo através da deteção remota.

O NDVI (*Índice de Vegetação da Diferença Normalizada*) é um índice de atividade fotossintética da planta (Pimentel & Silva, 2009). A vegetação fotossinteticamente ativa absorve a maior parte da luz vermelha enquanto reflete grande parte da luz do infravermelho próximo. O NDVI é a razão entre a diferença do comprimento de onda infravermelho próximo e vermelho pela soma dos mesmos: $NDVI = (IV \text{ próximo} - \text{Vermelho}) / (IV \text{ próximo} + \text{Vermelho})$.

Com a ferramenta *Raster Calculator* calculou-se o NDVI, ou seja, $NDVI = (Float(Banda8) - Float(Banda4)) / (Float(Banda8) + Float(Banda4))$.

Para além da análise do NDVI que irá contribuir para compreender a evolução da condição das plantas, usou-se os dados relativos a outra variável, a densidade de células da imagem com plantas (*Plant Cell Density*), por sua vez, irá contribuir para avaliar a “saúde” das vinhas (Saianda, 2017). Ambas as análises poderão ajudar a perceber a evolução das videiras e entender se a saúde vegetativa contribui para a produção de uvas.

O Índice de densidade de células com plantas (PCD) permitiu analisar o vigor da videira, sendo o cálculo: $PCD = NIR/RED$, onde NIR e RED são medições de reflexão espectral adquiridas no infravermelho próximo e vermelho, respetivamente. A análise do *Plant Cell Density* foi feita através dos dados fornecidos pelo grupo Aveleda.

4. Caracterização do Ciclo da Vinha e da Vinha em análise

4.1. Ciclo vegetativo da videira

Como podemos observar nas tabelas 2 e 3, em Outubro e Novembro, depois da vindima, segue-se o tratamento da vinha. “Atualmente, muitos viticultores deixam as suas vinhas sem mobilização como forma, por exemplo, de evitar a erosão.” (Almeida, 2017)

Entre Novembro e Fevereiro, começa a época da empa (dobrar e amarrar a vara que resulta da poda a um arame) e da poda da vinha que vai facilitar a produção.

“Com início da Primavera, começa o ciclo de tratamentos. A videira está sujeita a doenças ou pragas. Algumas das doenças mais comuns em Portugal são o míldio e o oídio que atacam os órgãos verdes da planta. Algumas das pragas mais habituais são a traça da uva que atinge os bagos em todas as fases de desenvolvimento, a cigarrinha verde e o aranhão vermelho.” (Almeida, 2017)

Os tratamentos fitossanitários tendem a ajudar as plantas a não sofrer com estas doenças, variando o número de pulverizações e o tipo de fungicidas aplicados.

Entre Abril e Maio, antes da planta entrar em floração, faz-se a poda em verde, o que é uma prática cada vez mais corrente (figura 15).

Entre Maio e Junho, os viticultores fazem uma poda de cachos, retirando eventuais excessos de produção e concentrando a qualidade dos que ficam.

Entre Agosto e Outubro, inicia-se a vindima (figura 15). A altura de começar a vindima é decidida de acordo com o estado de maturação das uvas e as condições meteorológicas.

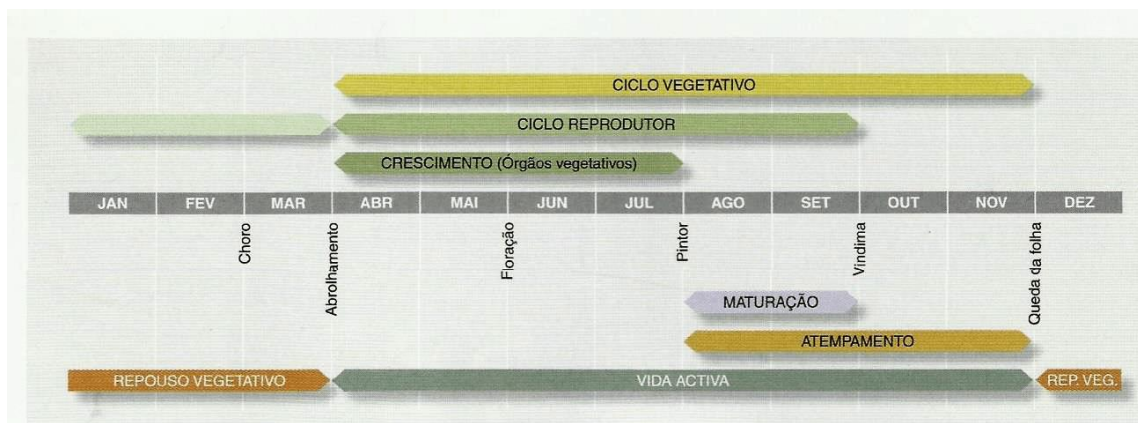


Figura 15 - Ciclo Vegetativo da videira. Fonte: Clube de Vinhos Portugueses.

Tabela 2 - Ciclo da vinha (Outubro a Março)

	Outubro	Novembro	Dezembro	Janeiro	Fevereiro	Março
Atividade	Continuar com os processos de vindima.	Escavar para a retenção das águas; Fazer regos para escoar a água em excesso; Plantar enxertos; Podar em locais menos frescos; Fazer aguardente.	Prosseguir a poda das vinhas carecas, guardando as vides boas; Fazer a fertilização e colocar mato nas vinhas cansadas.	Mergulhar as vides; Podar o bacelo; Limpar as castas da vinha até às raízes principais; Desinfetar as videiras que foram atacadas.	Continuar fertilização; Substituir ou endireitar esteios, esticar arames; Começar a enxertar; Cortar as raízes acima da soldadura do enxerto.	Conclusão da poda; Prosseguir as enxertias; Início dos tratamentos na vinha contra o míldio e o oídio com sulfato de cobre e enxofre.
Fotografia						
Agricultura de Precisão	Otimização da utilização dos fertilizantes agrícolas, através da sua aplicação diferenciada ao longo de uma determinada área e de acordo com as verdadeiras necessidades de cada setor; Antes da poda, analisar a robustez da videira (quantificar o número e diâmetro das varas); Reconhecer falhas de videiras e ou videiras mortas; Avaliar o volume de vegetação.					

Tabela 3 - Ciclo da vinha (Abril a Setembro)

	Abril	Maiο	Junho	Julho	Agosto	Setembro
Atividade	Proceder à adubação; Proceder aos respetivos tratamentos contra o míldio e o óídio.	Continuar a tratar contra o míldio e o óídio.	Aplicar caldas de fungicidas orgânicos e enxofre; Esladroar após desfolha.	Continuar com enxofras e sulfatação; Desfolhar ao redor dos cachos e protegê-los do sol; Empar os bardos nas ramadas.	Fazer a desparra; Amarrar enxertos; Vigiar o míldio e o óídio.	Desfolhar caso a maturação das uvas se atrase; Marcar as melhores videiras.
Fotografia						
Agricultura de Precisão	Otimização da utilização dos fertilizantes agrícolas, através da sua aplicação diferenciada ao longo de uma determinada área e de acordo com as verdadeiras necessidades de cada setor; Antes da colheita permite a avaliação do teor de açúcar e de acidez, auxiliando na identificação do momento mais apropriado para a colheita dos cachos; Análise da produção, designadamente o número de cachos por videira, o seu tamanho, a compacidade dos cachos e a compacidade entre cachos.					

Continuando um pouco mais a história do vinho, as figuras 16 e 17 abordam o glossário do ciclo vegetativo da vinha e de alguns conceitos utilizados nos processos da vinha, respetivamente.

Repouso vegetativo: a videira depende da temperatura ambiente para sustentar toda a atividade enzimática do seu ciclo vegetativo. Depois da vindima, com temperaturas baixas, a videira vai deixando de ter condições que comportem a sua atividade, as folhas começam a ficar amarelas e caem. Entre fim do Outono e o princípio do Inverno a videira entra em repouso vegetativo e só quando as temperaturas começarem a subir é que esse repouso dá-se por terminado. É durante este período de repouso vegetativo que se realiza a poda.

“Choro”: ocorre no fim do Inverno ou início da Primavera e representa o fim do repouso vegetativo e o início de um novo ciclo vegetativo da videira, pronunciando-se através da perda de seiva pelos cortes da poda. O novo ciclo vegetativo surge porque as condições de temperatura possibilitam a atividade enzimática da planta.

Abrolhamento: os gomos dos nós deixados pela poda começam a crescer e por conseguinte surge uma ponta verde, ficando depois as pequenas folhas visíveis e separadas.

Período antes da floração: Posteriormente ao crescimento das pequenas folhas, sucede-se um período de expansão vegetativa, ou seja, o aparecimento dos cachos, a separação dos cachos e a separação dos botões florais.

Floração: Passa-se durante cerca de uma semana e meia, geralmente na metade final da Primavera. Se a floração ocorrer debaixo de chuva, o pólen é lavado dos estames e das flores, não se dá a polinização e a consequente fecundação e, por conseguinte, a flor não “vinga” em fruto e a colheita será bastante afetada, e por isso, ser a fase mais importante para a definição da colheita.

Crescimento dos bagos: É uma etapa de grande expansão vegetativa. Os bagos atingem um certo tamanho que faz com que os cachos fiquem completamente fechados. Até esta fase os bagos das castas brancas e tintas mantêm a cor verde opaca.

Maduração: o início da maturação surge com o princípio do “pintor”, que representa o aparecimento da cor tinta nas películas dos bagos tintos e da película translúcida nas castas brancas. O “pintor” poderá durar de uma a duas semanas, mas um bago muda de cor em 24 horas. A partir do “pintor” inicia-se uma fase de 35 a 55 dias durante a qual a uva acumula açúcares, potássio, aminoácidos e compostos fenólicos e vai perdendo ácido tartárico e ácido málico. Este período termina com a vindima, que poderá ocorrer no final do Verão ou no princípio do Outono.



Fonte: Sogrape Vinhos



Fonte: Clube de Vinhos



Fonte: Aveleda



Fonte: Sogrape Vinhos



Fonte: Clube de Vinhos



Fonte: Vinho Verde



Fonte: Sogrape Vinhos

Fonte: SOGRAPE, V. d. (s.d.). *Guia das Vinhas*. Obtido de O ciclo vegetativo da Vitis Vinífera: https://www.sograpevinhos.com/enciclopedia/guia_vinha/ciclo

Figura 16 – Glossário dos processos do ciclo da vinha.



Ramada

Estrutura alta horizontal ou oblíqua, de ferro, madeira e arame, suportadas por esteios de pedra.



Poda

Operação realizada anualmente, durante o período de descanso vegetativo. Cortar a rama inútil das videiras.



Bacelo

Termo utilizado para designar "porta-enxerto"; pé-de-vinha no qual se faz a enxertia com a casta desejada.



Casta

Nome usado para designar as videiras que apresentam um conjunto de características comuns.



Bardos

Sistema de condução baixo e contínuo constituído por duas ou mais fiadas de arame, fixadas em esteios, entre os quais se desenvolve a parede vegetal da vinha.



Desparra

Operação de corte com a tesoura da extremidade ou ponta do ramo da videira.



Empa

Designa a operação que consiste no atar dos rebentos da videira aos arames que sustentam os troncos da videira.



Enxerto

Designa a associação de duas estruturas vegetais a fim de obter uma nova planta.



Vide

Planta cujo fruto é a uva, também chamada de videira.



Castas

Conjunto de videiras de uma determinada espécie.



Esteio

Peça que, feita em madeira, ferro ou metal, serve para segurar a videira.

Figura 17 – Conceitos relacionados com alguns elementos da vinha e processos da vitivinicultura.

4.2. Caracterização da vinha em análise

4.2.1. Evolução da ocupação do solo na área

Ao observar a figura 18, verifica-se que em 2002 a área em estudo era predominantemente ocupada por espaços florestais, por sua vez, a partir de 2006 iniciou-se a exploração agrícola, ou seja, surge a construção da vinha e a partir desse ano procedeu-se à evolução da mesma (2006-2015), o que deve ter resultado verificando-se um aumento significativo da produção.



Figura 18 - Evolução da área em que se insere a vinha em estudo durante o período de 2002-2015. Fonte: Google Earth.

A vinha caracteriza-se pela sua variação espacial pois é influenciada pelas características do local, ou seja, o clima, o declive, a geologia, a hidrografia, entre outros fatores.

Nesta vinha, as videiras encontram-se afastadas regularmente cerca de um metro e o afastamento médio entre pontos de colheita com medida GPS ronda os 2-3 metros (figura 19).



Figura 19 - Vinha em estudo.

A vinha é definida pela distância das videiras entre as linhas e pela distância das videiras na linha. Na distância das videiras entre as linhas encontra-se um solo nu ou revestido de herbáceas (figura 19).

A orientação das linhas é no sentido N-S porque para a topografia local face à latitude a que se encontra, é a orientação que favorece o processo de insolação e, consequentemente, a maturação mais eficaz das uvas.

4.2.2. Ocupação do solo

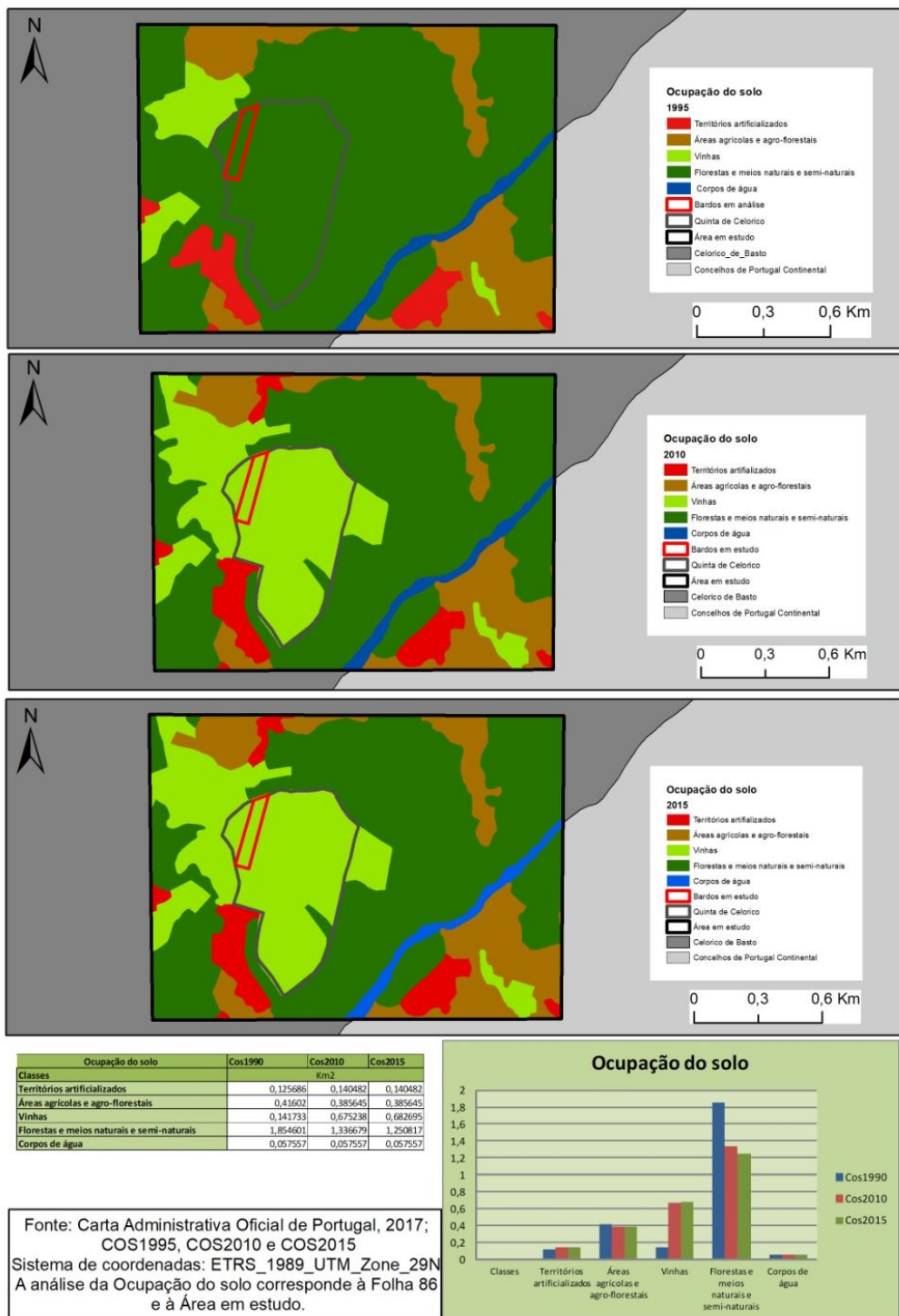


Figura 20 - Ocupação do solo da área em estudo.

Tendo como centro de análise a área ocupada pela vinha e abrangendo o território envolvente procedeu-se também a uma avaliação da evolução da ocupação do solo, baseando-nos nas Cartas de Ocupação do solo de 1995, 2010 e 2015.

Numa primeira análise, na área considerada, verificamos que são os espaços florestais que dominam em termos de ocupação do solo, pois apresentam valores superiores a 1 km² de 1995 a 2015. No entanto, houve uma transformação nos espaços florestais, como podemos observar na figura 20, na Carta de ocupação do solo de 1995 predominavam os espaços florestais e meios naturais e semi-naturais com 1,854601 Km². Contudo, na COS de 2010 e 2015 observa-se uma mudança pois na área florestal surgiram espaços dedicados à viticultura, passando de 0.141733 Km² em 1990 para 0.682695 Km² na Cos de 2015, sendo então as florestas e meios naturais e semi-naturais e as vinhas que se destacam na área em estudo. Quanto às áreas agrícolas, observa-se que também são espaços com representatividade para a área em estudo não se registando grandes modificações na área que ocupam. Por sua vez, os espaços artificializados são a tipologia menos representativa da área em estudo. Os valores apresentados como corpos de água, ou seja, 0.057557 Km², no concelho devem-se ao curso do Rio Tâmega que atravessa o setor.

4.2.3. Topografia e exposição das vertentes

Um mapa hipsométrico consiste na representação da altitude da superfície terrestre através de uma graduação de cores, correspondendo, de forma aproximada, às tonalidades do terreno, ou seja, um mapa hipsométrico representa o relevo por curvas de nível, ao nível das águas do mar, representa a altitude através de espaços concordantes entre as curvas de nível e são coloridos segundo uma legenda convencional em que normalmente a cor verde representa as baixas altitudes e a cor castanha as maiores altitudes. A realização do referido mapa, presente na figura 21A, resultou da reconversão do modelo GRID, sendo de seguida efetuada a reclassificação das classes de altitude, representando assim as diferenças de cota da superfície da área em estudo. Analisando o resultado do mapa verifica-se que o valor mais elevado de altitude situa-se nos 254 metros e o valor mais baixo a 0 metros.

Relativamente à escolha do tamanho do *pixel*, considerou-se pertinente a utilização de 10 metros, para que se obtivesse uma representação com mais qualidade e menos distorcida da realidade, sendo desta forma possível alcançar uma maior precisão na representação do relevo. Quanto mais pequeno for tamanho da célula, melhor qualidade é alcançada no modelo e mais realista é a sua representação.

A sua análise demonstra a forte amplitude de relevo presente no território, contudo os valores mais baixos destacam-se na área circundante ao rio Tâmega.

O mapa de exposição de vertentes (figura 21B), elaborado com base no Modelo GRID, assume-se como um importante elemento de análise para a distinção da quantidade de insolação das vertentes face à orientação das mesmas. A Figura 21B apresenta o resultado obtido relativo à Quinta de Celorico e aos bardos em estudo.

Assim, as vertentes voltadas a norte serem mais frias e húmidas que as vertentes orientadas a sul, geralmente mais quentes e soalheiras. Analisando os resultados relativos aos bardos em estudo verificamos que as vertentes voltadas a norte predominam no território, representando uma área de 225 km² (2,25%), seguindo-se as encostas orientadas a este que ocupam 82 km² de área (0,82%) e voltadas a oeste com 75 km² (0,75%).

Constata-se, desta forma, que os valores mais representativos de declive correspondem às vertentes voltadas a norte, por sua vez, as vertentes voltadas a sul apresentam valores de declives reduzidos.

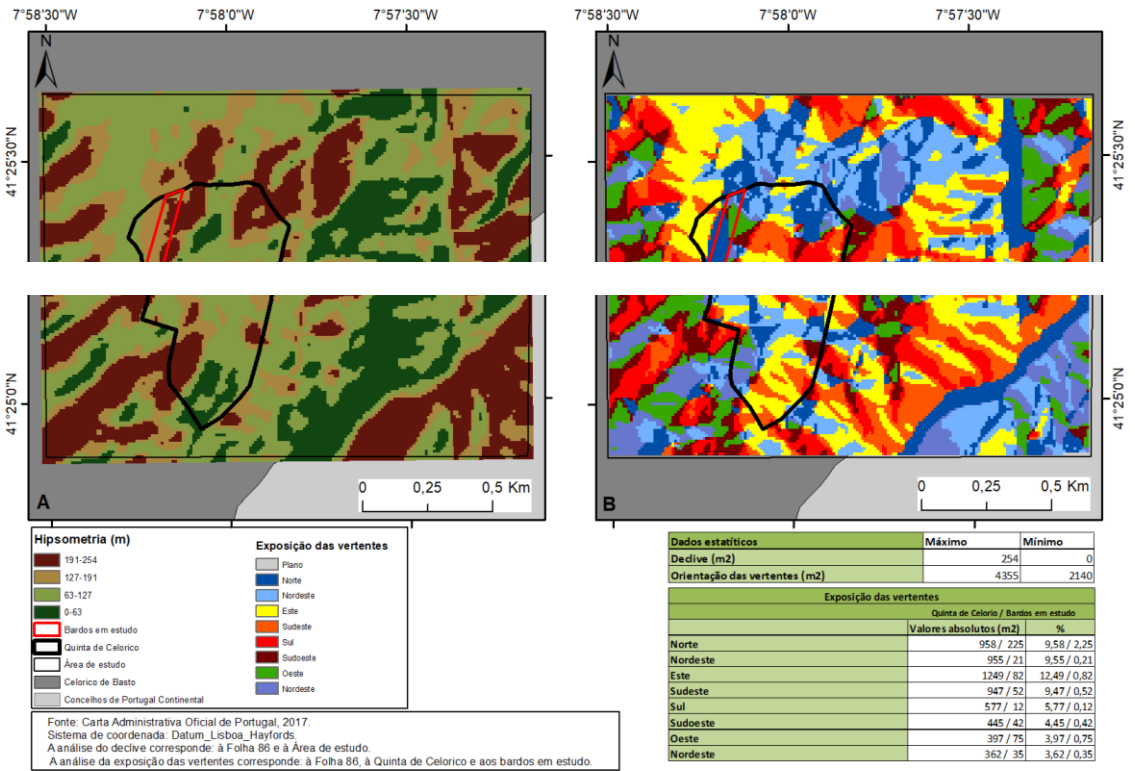


Figura 21 - A) mapa hipsométrico; B) exposição das vertentes.

4.2.4. Hidrografia

Na área em estudo está presente a Bacia Hidrográfica do Rio Tâmega, afluente margem direita do rio Douro, sendo este o principal curso de água que atravessa o concelho, coincidindo com o limite administrativo da parte nascente (figura 22).

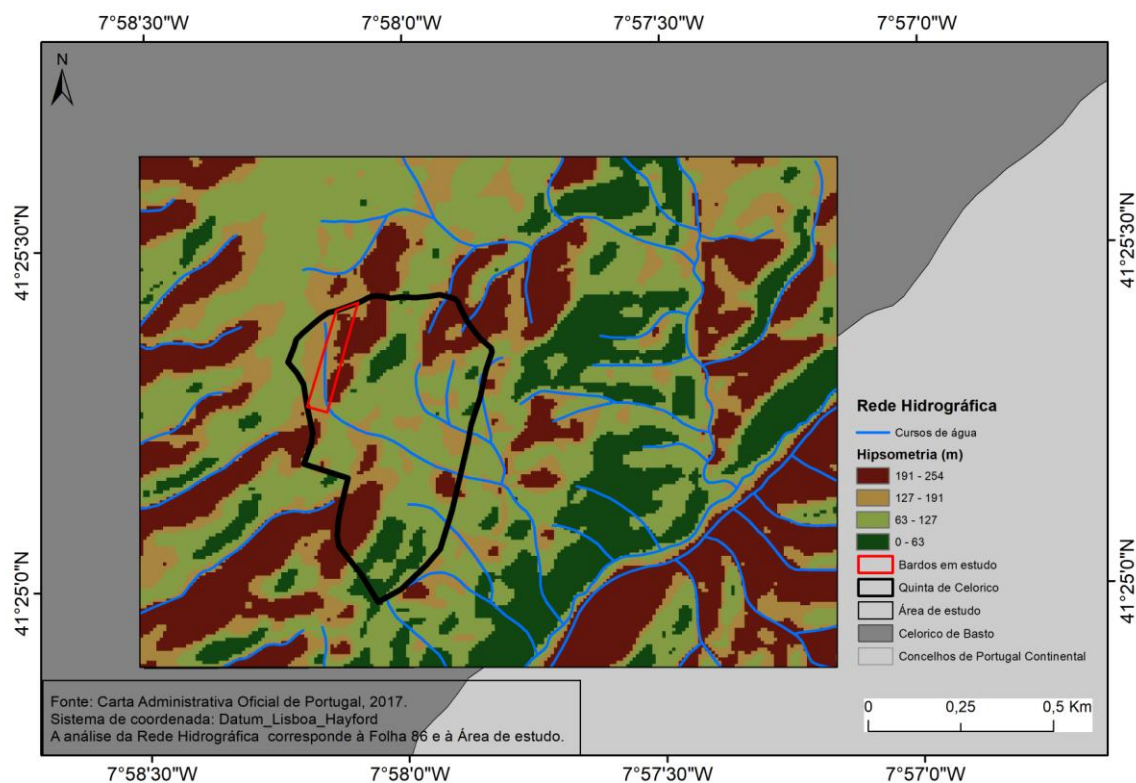


Figura 22 - Rede hidrográfica da área em estudo.

4.2.5. Geologia

Geologicamente, a área em estudo situa-se na área abrangida pela folha 10-A (Celorico de Basto), na escala 1/50000 da Carta Geológica de Portugal.

Em termos geomorfológicos, apresenta um relevo acidentado, com áreas planálticas, alternando com vales que descem até ao rio Tâmega. Localiza-se no Maciço Hespérico, mais precisamente na Zona Centro-Ibérica, sendo formada por rochas de idade Pré-câmbrica e Paleozoica onde se destacam as rochas metassedimentares e rochas ígneas de natureza granítica. Na área próxima do rio Tâmega ocorrem afloramentos micaxistos com intercalações de metagrauvaques e traços de escarnito (figura 23).

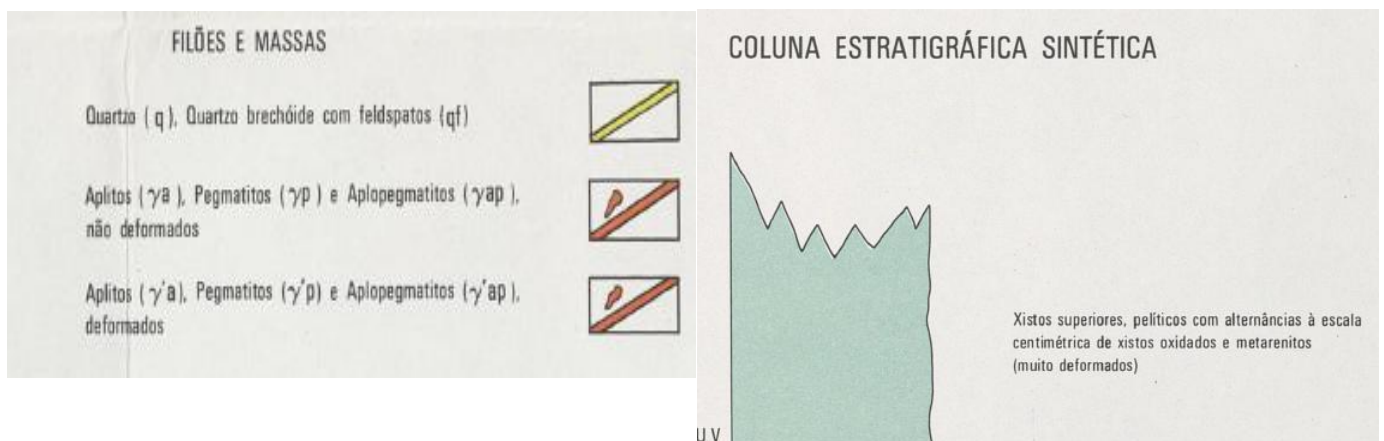


Figura 23 - Geologia da área em estudo.

A região comporta a influência de compressões NW-SE e, aproximadamente, W-E que reativam fraturas anteriores e condicionam o relevo atual.

O limite ocidental da estrutura do Tâmega deve-se mais à influência da falha da Gandarela, com rumo próximo de N-S, do que ao jogo do feixe de falhas NE-SW, que recortam o maciço de Celorico de Basto, postas em destaque por forte enchimento de quartzo. Filões de quartzo e de brechas graníticas soldadas por quartzo, recortam os maciços com direção dominante NE-SW. Representam decerto fendas de tração da terceira fase hercínica (F3) retomadas como desligamentos e falhas normais a condicionar o rio Tâmega (Pereira, 1989).

A área em estudo quanto à litologia caracteriza-se pela existência de xistos pelíticos com alternâncias à escala centimétrica de xistos oxidados metarenitos. Em relação aos filões e massas, contém Quartzo, Aplitos e Aplitopegmatitos.

4.2.6. Características climáticas

A variação da produtividade está relacionada com fatores como as características do solo, tais como a fertilidade e a permeabilidade, e também, as pragas, as doenças e as mobilizações que causam a variabilidade da produção. Contudo, na atividade agrícola as condições podem alterar de forma notável com a variação anual das condições meteorológicas.

O clima em Portugal é temperado, com características tipicamente mediterrâneas, com verões quentes e secos; invernos frios e húmidos e outonos e primaveras com temperaturas moderadas (IPMA, 1971-2000).

Tendo em conta as normais climatológicas de Braga (figura 24), a temperatura média do mês de Julho em 1999 foi de 27.5°C, já a temperatura mais baixa do ano ocorreu em Janeiro, com uma temperatura média de 13.4°C (IPMA, 1971-2000).

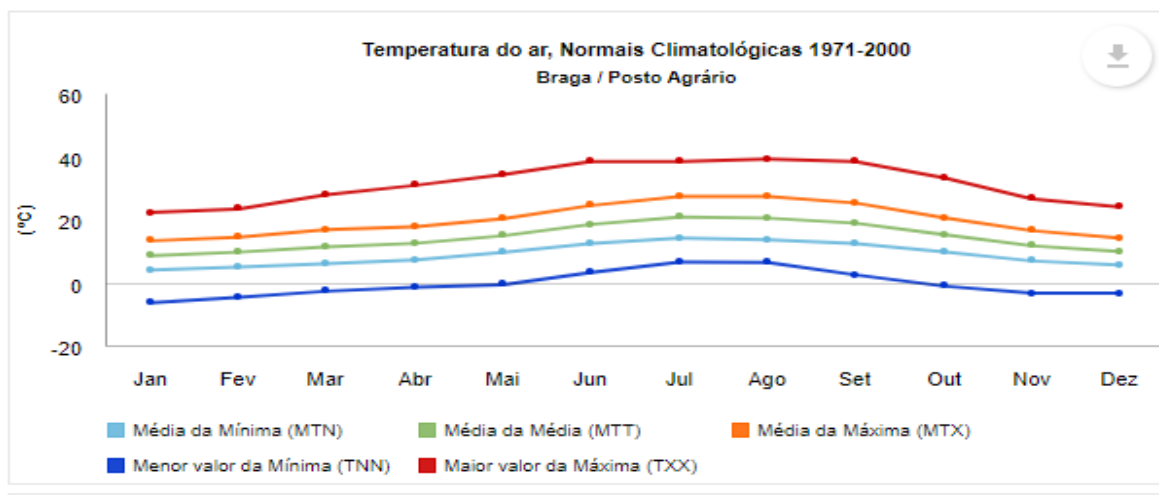


Figura 24 - Normais climatológicas relativas à temperatura 1971-2000 Fonte: IPMA.

Quanto aos valores de precipitação, verifica-se que foi no mês de Dezembro que se registou o valor mais elevado com 231.4mm, pelo contrário, o mês de Julho registou 24.1mm (figura 25) (IPMA, 1971-2000).

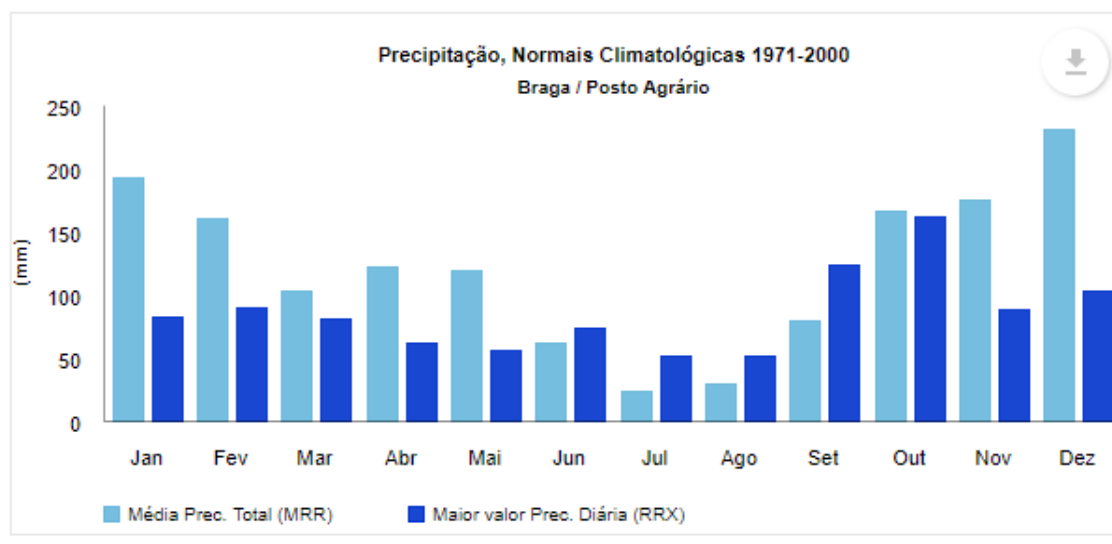


Figura 25 – Normais climatológicas relativas à Precipitação 1971-2000. Fonte: IPMA

Qualquer análise climática para a produção de vinho terá de considerar um grande número de fatores como a temperatura, a precipitação e a humidade. *A vinha noroestina cresce em solos de origem predominantemente granítica (...). As condições climáticas são favoráveis à viticultura desde que as vinhas se encontrem convenientemente expostas e o Verão seja suficientemente quente e seco para permitir a maturação das uvas* (Marques, 1987). *Trata-se de uma região com afinidades mediterrâneas mas com forte influência atlântica, traduzindo-se num clima de temperaturas amenas, com pequenas amplitudes térmicas e forte pluviosidade média, resultado da sua posição geográfica, da proximidade do Atlântico e da forma e disposição dos principais conjuntos montanhosos.* (Comissão Municipal de Defesa da Floresta Contra Incêndios, 2015)

5. Mapas de produtividade dos bardos em estudo

A vindima realizou-se no dia 6 de setembro de 2018 tendo em conta os controlos de maturação da uva, não atuando de forma diferenciada e não existindo qualquer segmentação da vinha. A vindima foi realizada mecanicamente com uma vindimadora.

A construção de mapas de produtividade foi realizada utilizando a estrutura de variabilidade espacial da amostra de dados e um método de interpolação (*kriging*). Este tipo de mapas permite observar se existe uma variação da colheita da uva ao longo da parcela. O uso de mapas de produtividade é o método indicado para entender as diferenças de produção ano a ano, no entanto, neste estudo só foram explorados dados de um ano (2018) o que compromete a comparabilidade dos resultados.

Ao posicionamento fornecido pelo GPS resultam valores de produtividade georreferenciados que possibilitam a realização dos mapas de produtividade. O uso de informação georreferenciada da produção e a elaboração de mapas de produtividade são uma ferramenta fundamental para as decisões dos proprietários agrícolas, uma vez que, permite detetar eventuais problemas que influenciam negativamente a produção, definir um tipo de plano de forma a melhorar a produtividade e através da informação obtida na investigação destacar os aspetos mais relevantes para investimentos futuros.

No entanto, o uso da informação georreferenciada não exclui a necessidade de observação de campo, pois esta é indispensável para complementar a análise dos dados. A utilização da informação georreferenciada possibilita ao agricultor interpretar as zonas da vinha onde terá que atuar com mais rigor e ainda, permite identificar as áreas com maior potencial produtivo.

No solo, os espaços entre filas são mais ao menos de um metro; portanto, para excluir essas áreas, os *pixels* nas imagens devem representar uma área no solo menor ou equivalente ao espaço entre linhas.

A vinha geralmente manifesta uma variação espacial dentro da mesma parcela. *Essa variação espacial pode ser atribuída a fatores ambientais físicos (solo, topografia, clima), que sem dúvida condicionam, significativamente, as diversas respostas da cultura, que se refletem na variabilidade espacial do rendimento.* (Sort & Ubalde, 2005)

Existem várias causas que originam a variação da produção ou as possíveis interações entre fatores respeitantes ao ambiente físico e fatores relativos à colheita.

A multiplicidade de fatores pode trazer variabilidade espacial do rendimento. Nesse sentido, a importância do solo é clara. Na produção de vinhas, a variação do rendimento parece ser principalmente influenciada pelas propriedades físicas do solo. (Plant, 2001)

A construção de mapas de produtividade foi realizada com base na estrutura de variabilidade espacial da amostra de dados (variograma) e um método de interpolação (kriging).

Um aspecto importante do método de kriging de interpolação é que, além de interpolar estimativas de valores em locais não amostrados com base em valores conhecidos georreferenciados, estimativas da variância dos valores também são produzidos. (Bramley & Hamilton, 2004)

O objetivo de mapear a produtividade para um ano é promover a variabilidade que é dependente de efeitos sazonais devido, por exemplo, as diferenças na precipitação anual ou diferenças de temperatura.

5.1. Metodologia de cálculo da produtividade na vinha em estudo

No setor agrícola, os Sistemas de Informação Geográfica são fundamentais no estudo em planejamento e gestão de explorações. A sua aplicação em sistemas de Agricultura de Precisão é vital, porque quase todas as tecnologias que auxiliam estes sistemas precisam de informação georreferenciada. Efetivamente, é a ligação dos SIG com as tecnologias, como o GPS, que permite criar uma estrutura complexa de dados.

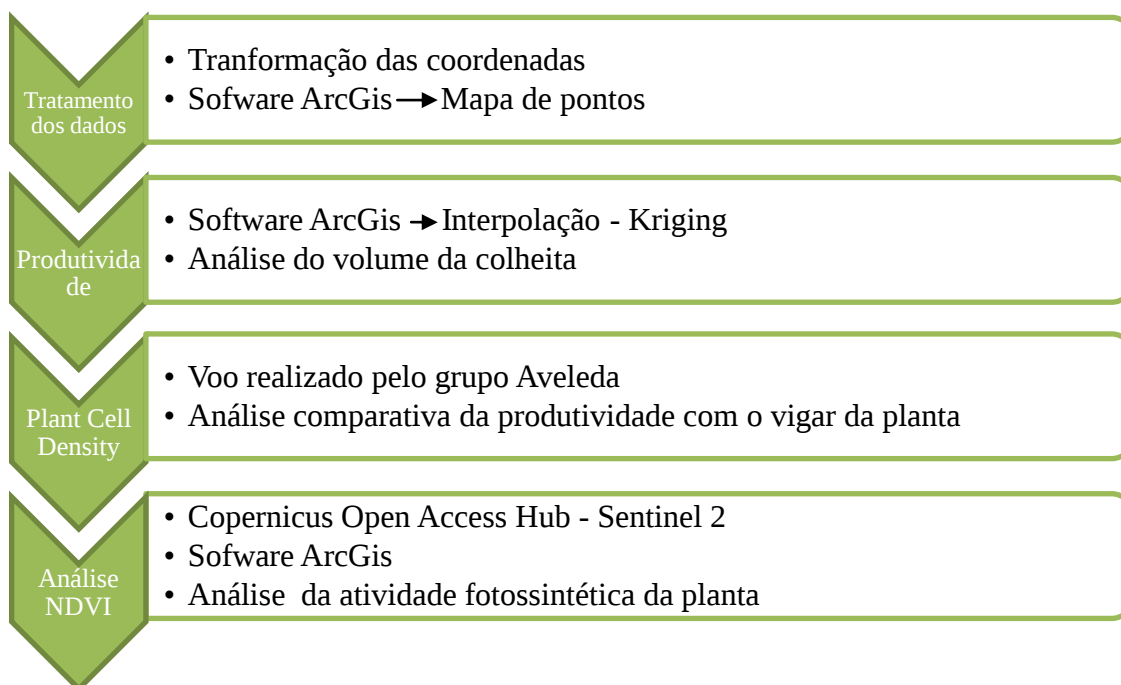


Figura 26 - Metodologia de cálculo da produtividade na vinha em estudo.

Em primeiro lugar, através das coordenadas originais obtidas pelo GPS organizou-se o ficheiro de Excel com as coordenadas convertidas para graus decimais. (Tabela 4).

Tabela 4 - Conversão das coordenadas geográficas (0 ‘ ‘) em graus decimais para inserção nos SIG.

FID	Long	Lat	Volume	PreviousTotalVolume	CurrentTotalVolume	Long WGS 84	Lat WGS 84	Longitude			Latitude			Grau Decimal	
								grau	minuto	segundo	grau	minuto	segundo	Long	Lat
0	758,23273 W	4125,26221 N	0,130831	0	0,130831	-7,58232727	41,25262207 -7	58	23	41	25	26	-7,97305556	41,42388889	
1	758,23248 W	4125,26221 N	-0,0419	0,130831	0,088931	-7,58232483	41,25262207 -7	58	23	41	25	26	-7,97305556	41,42388889	
2	758,23248 W	4125,2627 N	0,042358	0,088931	0,131289	-7,58232483	41,25262695 -7	58	23	41	25	26	-7,97305556	41,42388889	
3	758,23242 W	4125,2627 N	-0,022891	0,131289	0,108397	-7,58232422	41,25262695 -7	58	23	41	25	26	-7,97305556	41,42388889	
4	758,23212 W	4125,2627 N	0,013661	0,108397	0,122058	-7,58232117	41,25262695 -7	58	23	41	25	26	-7,97305556	41,42388889	
5	758,23169 W	4125,26318 N	-0,028919	0,122058	0,093139	-7,58231689	41,25263184 -7	58	23	41	25	26	-7,97305556	41,42388889	
6	758,23163 W	4125,26318 N	0,070115	0,093139	0,163254	-7,58231628	41,25263184 -7	58	23	41	25	26	-7,97305556	41,42388889	
7	758,23163 W	4125,26318 N	-0,047118	0,163254	0,116136	-7,58231628	41,25263184 -7	58	23	41	25	26	-7,97305556	41,42388889	
8	758,23163 W	4125,26318 N	0,030199	0,116136	0,146335	-7,58231628	41,25263184 -7	58	23	41	25	26	-7,97305556	41,42388889	
9	758,23163 W	4125,26318 N	-0,052862	0,146335	0,093472	-7,58231628	41,25263184 -7	58	23	41	25	26	-7,97305556	41,42388889	

Numa análise prévia dos pontos de relativos à vindima, verificou-se a existência de valores negativos que podem resultar da falha do sensor ou descargas que a máquina efetuava antes de recomençar um novo bardo, por isso, esses pontos não foram contabilizados na interpolação do volume. Assim, do total de 5373 de registos iniciais foram eliminados 2343 (43,6%).

De seguida, multiplicou-se os valores do volume por 1000 de forma a ter um valor inteiro na representação espacial do volume por ponto e respetiva interpolação espacial. O cálculo exato do volume colhido em cada ponto ainda carece de afinação e testes (em parte, devido ao esmagamento do cacho e redução do volume inicial na máquina) pelo que se optou por indicar um coeficiente K que nos dará futuramente o volume real colhido em cada ponto.

Nas condições do *Kriging* utilizou-se como *Krigin method: Ordinary*, como *Semivariogram model: Spherical* e como *Output Cell size: 1 metro*, dado que as videiras se encontram afastadas regularmente cerca de um metro e o afastamento médio entre pontos de GPS raramente excede os 2-3metros.

5.2. Produtividade/ Volume da colheita

O mapa de pontos relativo ao volume colhido (figura 27A) permite várias considerações: 1) é patente uma grande variedade espacial no volume de colheita; 2) são as duas classes com valores mais baixos que predominam; 3) e existência de algumas aglomerações de pontos com valores mais elevados relativos às duas classes de valores maiores, particularmente no sector NW da vinha, sendo que o valor mais elevado é de 165 dm^3 .

Esta variabilidade e a existência de áreas bem contrastadas são evidenciadas no mapa de interpolação (figura 27B) que apresenta os bardos localizados mais a norte com mais produtivos quando comparados com os bardos localizados mais a sul.

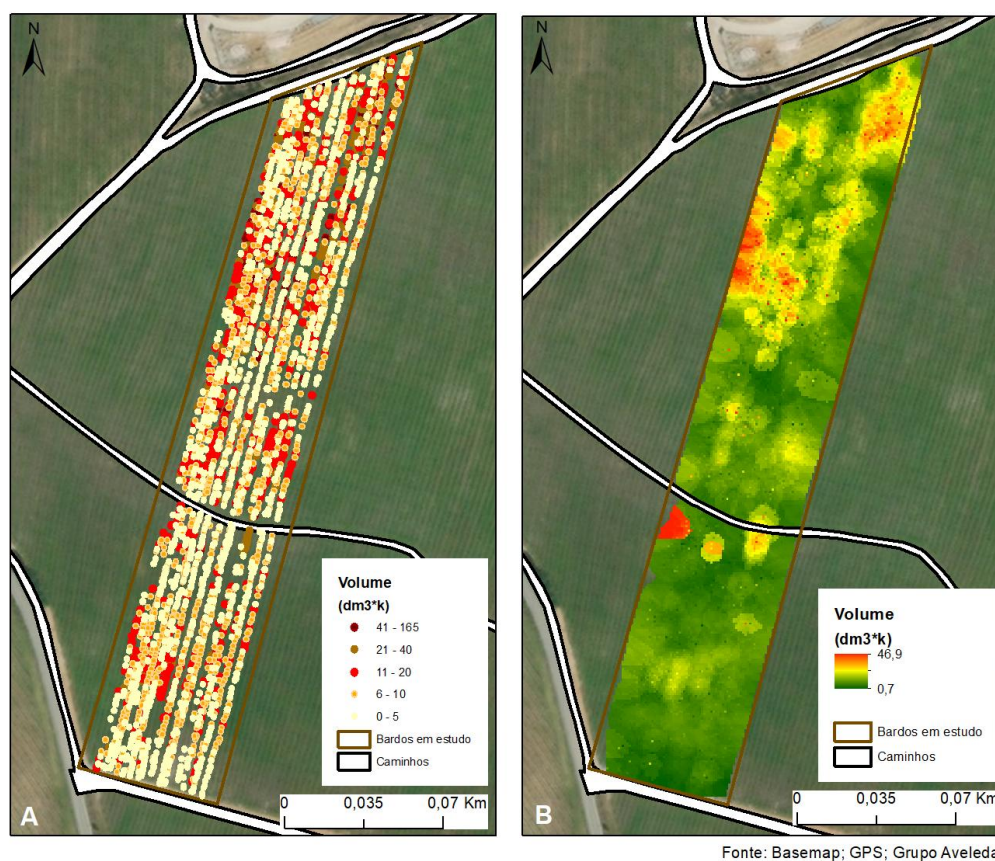


Figura 27 - Cartografia da produtividade da vinha de Celorico de Basto: A) volume de colheita de uvas por cada ponto GPS, B) mapa referente à interpolação espacial do volume de colheita de uvas.

A interpolação dos valores do *Plant Cell Density* evidencia uma alternância de faixas com valores diferentes de sul para norte, bem evidentes na figura 28B. A comparação entre os volumes interpolados e o PCD, espacialmente, parece demonstrar que aos maiores valores de volume se associam os valores de PCD, embora esta correspondência seja ténue, pois observa-se no mapa de interpolação do volume, as manchas vermelhas destacam-se no setor norte da vinha enquanto que no mapa do vigor da planta as cores laranja e vermelho sobressaem no setor sul.

Depois de feita a interpolação, criou-se um perfil através da ferramenta 3D Analyst – *Interpolate line* de forma a perceber a variação dos valores Volume e PCD.

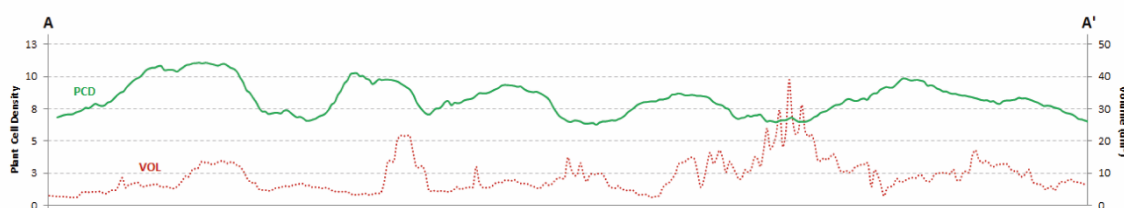
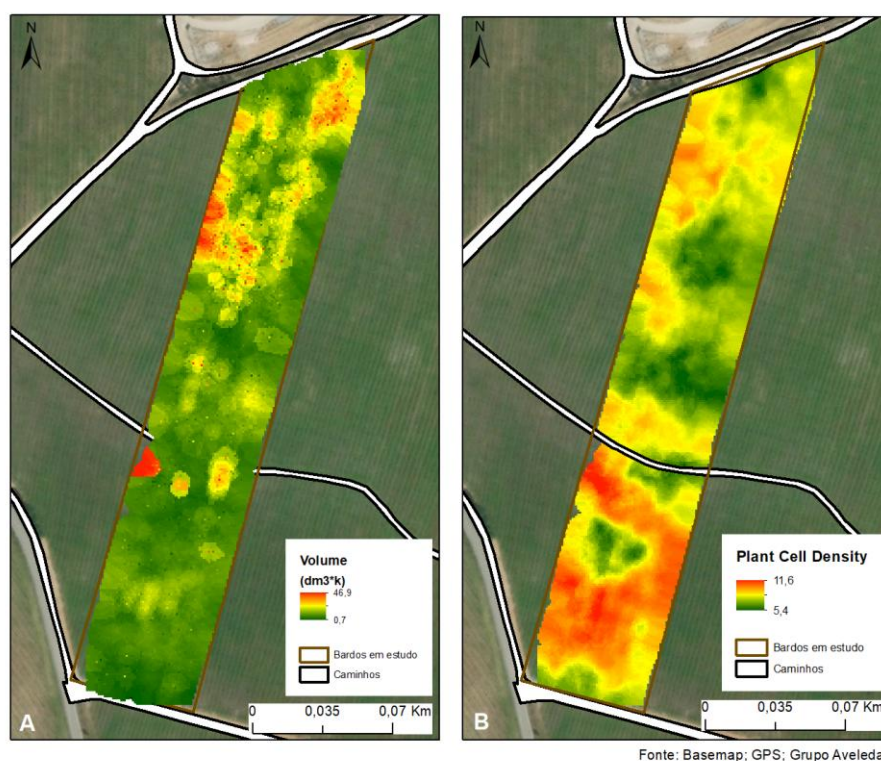


Figura 28 - Cartografia da produtividade da vinha de Celorico de Basto: A) mapa referente à interpolação espacial do volume de colheita de uvas, B) mapa relativo à interpolação espacial do PCD. Perfil AA' exemplificativo da variação ao longo de um bardo do volume e do PCD.

Como podemos observar no perfil AA', os valores do Volume são irregulares enquanto que os valores do *Plant Cell Density* encontram-se mais constantes.

O índice da densidade de células da imagem com plantas (PCD) permitiu a diferenciação de zonas de vigor diferente, mas também de qualidade. A zona com o maior índice de PCD, de maior vigor e rendimento, poderá produzir um vinho com maior qualidade.

5.3. Análise NDVI

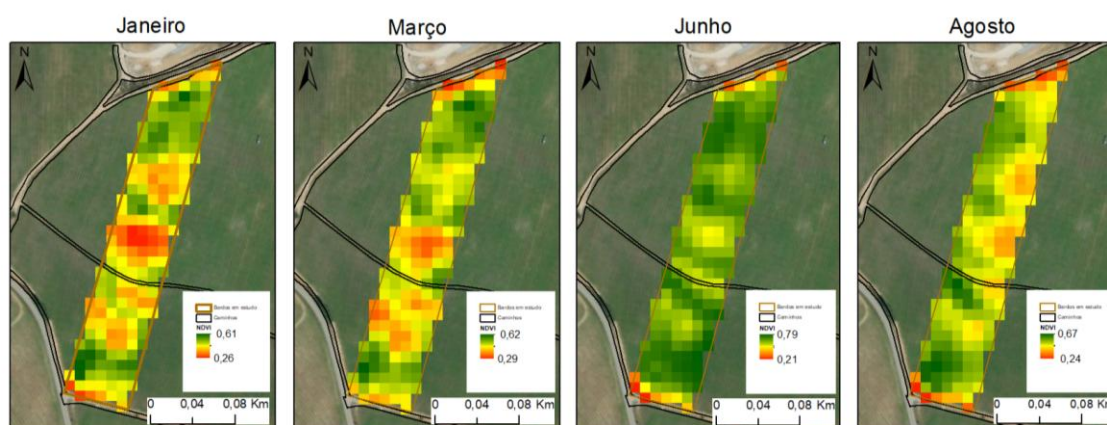
O NDVI é um produto que permite a transformação de uma imagem inicial para uma imagem completamente nova através de uma fórmula matemática aplicada a cada pixel.

Para concretizar o cálculo do NDVI foram utilizadas imagens de satélite, mais precisamente imagens Sentinel 2 retiradas da *Copernicus Open Access Hub*, que posteriormente, possibilitam trabalhar no *software* ArcGIS.

Os mapas foram realizados com imagens satélite de *Sentinel 2* e projetadas em 2018 nos dias 30 de Janeiro; 26 de Março; 19 de Junho; 18 de Agosto com uma resolução de 10m. O satélite *Sentinel 2* possui uma câmara multiespectral de alta resolução com 13 bandas no espectro visível.

Depois de feito o *download* das imagens adiciona-se no *software* ArcGis as Bandas 4 e 8.

Posteriormente, através da ferramenta *Raster Calculator* calculou-se o índice de vegetação NDVI com a fórmula: $(\text{Float}(\text{Banda8}) - \text{Float}(\text{Banda4})) / (\text{Float}(\text{Banda8}) + \text{Float}(\text{Banda4}))$.



Fonte: Basemap; Copernicus Open Access Hub; Sentinel 2

Figura 29 - Evolução da vegetação ao longo do ciclo da videira.

A figura 29 representa o índice de vegetação NDVI, onde através da observação visual podemos afirmar que existe uma variabilidade dos valores de Janeiro a Agosto. Verifica-se, ainda, que na parcela referente ao meses Janeiro e Março a vegetação menos saudável encontra-se no centro dos bardos em estudo, enquanto que, a vegetação saudável destaca-se a norte e a sul da parcela. Por sua vez, no mês de Agosto a vegetação menos saudável encontra-se a este da parcela.

A escolha dos meses foi feita depois de uma análise do ciclo vegetativo da videira.

A videira depende da temperatura ambiente para suportar toda a atividade enzimática que está na base do seu ciclo vegetativo. Após a vindima, com o avançar do Outono e a consequente descida das temperaturas, a videira vai deixar de ter condições que suportem a sua atividade, as folhas amarelecem e acabam por cair. Entre o fim do Outono e o princípio do Inverno a videira entra em repouso vegetativo e só dele sairá quando as temperaturas médias do solo começarem a subir. É durante este período de repouso vegetativo que realiza-se a poda.

Dá-se nos últimos dias do Inverno ou início da Primavera o fim do repouso vegetativo e o início de um novo ciclo vegetativo da videira.

O crescimento dos bagos é um período de grande expansão vegetativa coincidente com uma época de temperaturas mais elevadas. A vindima poderá ocorrer no final do Verão ou no princípio do Outono.

Verificamos que em Janeiro a vegetação não se encontra completamente saudável pois coincide com o repouso vegetativo. Em Março a vegetação vai ficando robusta porque dá-se o início de um novo ciclo vegetativo da videira com “o choro da videira” (figura 29). As videiras que foram podadas no inverno perdem a sua seiva e o fim das temperaturas baixas começam a permitir a atividade enzimática da planta. É no início da Primavera que a videira termina a época de repouso, por isso, em Abril reparamos que a vegetação encontra-se menos saudável porque corresponde ao período inicial do desenvolvimento vegetativo. Nesta fase as geadas são o pior inimigo da videira.

Em Junho observamos que a vegetação está em plena saúde pois a folha já se encontra desenvolvida, por sua vez, atualmente, cada vez mais viticultores fazem uma poda de cachos, retirando eventuais excessos de produção e concentrando a qualidade dos que ficam, o que pode, então justificar que no mês de Agosto a vegetação encontra-se moderadamente saudável (figura 29).

A partir de Outubro que corresponde ao período após a colheita a videira inicia o seu processo de repouso e só voltará à atividade no início da Primavera.

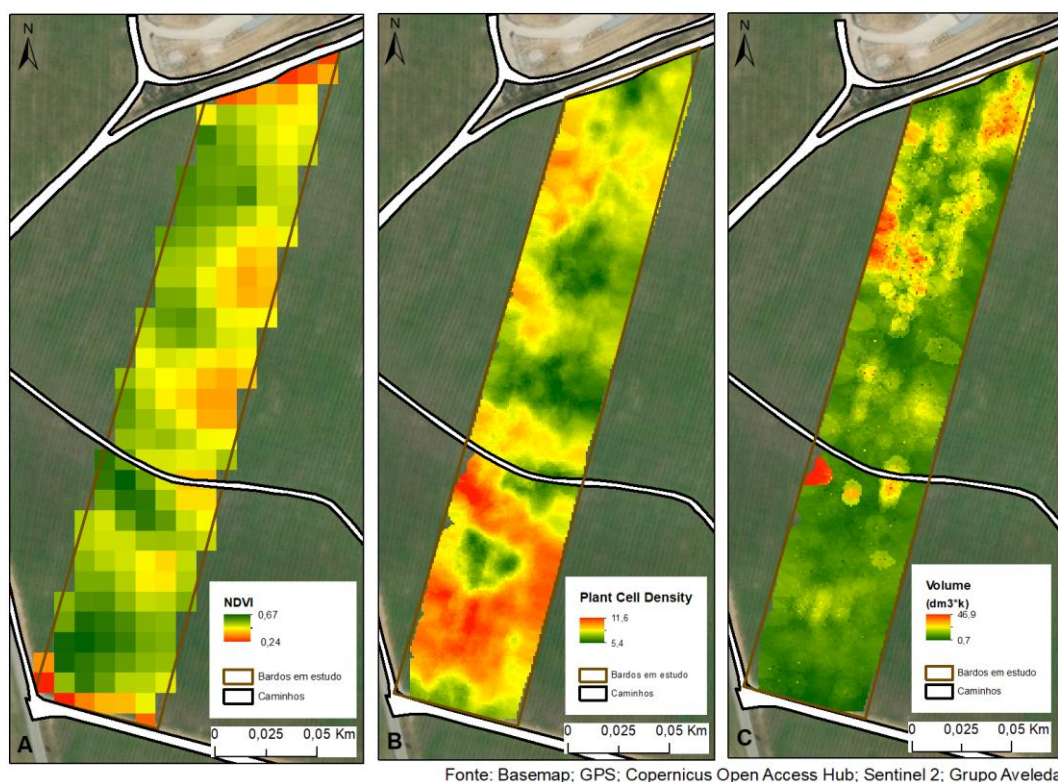


Figura 30 - Validação do mapa de produtividade da vinha com valores NDVI e PCD.

Na construção dos mapas de NDVI e de PCD (figura 30A e B) foi considerando um pixel de tamanho de 10m, já que os dados base do NDVI eram imagens do Sentinel 2. O primeiro permitiu estimar a quantidade de vegetação presente na região e foi construída usando uma imagem de satélite do Sentinel 2 do Copernicus Open Access Hub, obtida em 18/08/2018 (figura 30A), ou seja, a imagem disponível mais próxima do dia da colheita que foi em 6/09/2018. O segundo fornece as informações de saúde relativa da vegetação e foram fornecidos pela Companhia Aveleda (figura 30B).

Ambos os métodos foram usados para testar a conectividade entre os dados e esperava-se encontrar alguma correlação com o volume de produção (figura 30C). Verifica-se que os valores do NDVI podem estar relacionados com os do volume, uma vez que, a colheita foi mais significativa a noroeste da parcela correspondendo também onde se encontra as plantas de elevado vigor, contudo a sul dos bardos as videiras também se encontram saudáveis, no entanto a colheita foi escassa. Quanto aos dados do

Plant Cell Density verifica-se que a densidade de células da imagem com plantas encontra-se a noroeste e a sul da parcela, no entanto, a colheita foi mais significativa apenas na zona noroeste da parcela. Pode-se, assim concluir que poderá existir correlação entre os dados de NDVI e PCD e os do volume da colheita, contudo, entre os dados do PCD com os dados da produtividade a correlação é ténue.

6. Conclusões

Os produtores de vinho estão cientes que o desempenho da videira varia ao longo da vinha e, por isso, com um mapa de produtividade os produtores ficam com o conhecimento da variação existente na vinha.

Os métodos utilizados neste trabalho para avaliar a produtividade são simples e fáceis de usar e podem ser facilmente implementados em SIG. É, portanto, algo que um proprietário agrícola poderia implementar. Os mapas de produtividade operam como ferramentas de diagnóstico ao qual o resultado permite resolver ou atenuar localmente um problema. Depois de fazer a análise da informação obtida o empresário agrícola poderá pensar em estratégias a adotar no futuro, que sejam técnica e economicamente viáveis e que ajudem a melhorar o seu sistema produtivo.

Ao longo da realização deste trabalho surgiram dificuldades como o tratamento das coordenadas, a integração de dados e a escala muito minuciosa. Para uma elaboração mais rigorosa dos mapas seria necessário a integração de uma maior quantidade de dados e de técnicas. Também, as pequenas variações do volume, juntamente com a incapacidade de tirar as medidas de toda a superfície, implicaram algumas imprecisões, criando dessa forma, um erro maior na estimativa. Isso pode ser a causa da não similaridade entre o mapa de produtividade e o mapa PCD.

Seria interessante a realização de mais anos de estudo para perceber a variabilidade da produtividade da área estudada. Desta forma, seria curioso a continuação deste estudo, utilizando diversas metodologias e técnicas de viticultura de precisão de modo a obter resultados significativos da produção em toda a parcela. Pois a realização de mapas de produtividade favorece a tomada de decisão do proprietário de vinho permitindo, assim, que este tenha por base resultados qualitativos e quantitativos da produção.

7. Referências bibliográficas

- A. Peixoto Lima, J., Marinho, M. J., Antunes, A. P., Silva, I., & Borges Simões, N. (2008). *Carta Educativa do concelho de Celorico de Basto*. Município de Celorico de Basto.
- Adam, J. M. (2013). Applying Geospatial Tools and Techniques to Viticulture. *Geography Compass*, 22-34.
- Almeida, M. J. (2 de Janeiro de 2017). *Calendário do Viticultor*. Obtido em 6 de Novembro de 2018, de Maria João de Almeida: <http://mariajoaodealmeida.com/2017/01/calendario-do-viticultor/>
- Arnó, J., Martínez-Casasnovas, J., Ribes-Dasi, M., & Rossel, J. (2009). Review. Precision Viticulture. Research topics, challenges and opportunities in site-specific vineyard management. *Spanish Journal of Agricultural Research*, 779-790.
- Avillez, F. (2017). *Produtividade, crescimento e rendimento agrícolas em Portugal na última década*.
- Barreiro, P., & Valero, C. (2014). Dornes en la Agricultura . *Salamaq*, 36-42.
- Blom, P., & Tarara, J. (2009). Trellis tension monitoring improves yield estimation in vineyards. *HortSci*, 44, 678-685.
- Braga, R. (2009). *Viticultura de Precisão*. Associação dos Jovens Agricultores de Portugal.
- Braga, R. (2018). A tecnologia ao Serviço da Agricultura. (P. Associação dos Jovens Agricultores, Entrevistador)
- Braga, R. (2018). A Tecnologia ao Serviço da Agricultura. *Jovens Agricultores*.
- Braga, R., & Noéme, J. (2015). Drones conquistam setor agrícola português. (A. Clara, Entrevistador)
- Bramley, & S.Cook. (1998). Precision agriculture-opportunities, benefits and pitfalls of sitespecific crop management in Australia. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, 753-763.
- Bramley, R., & Hamilton, R. (2004). Understanding variability in winegrape production systems 1. Within vineyard variation in yield over several vintages. *Australian Journal of Grape and Wine Research* 10, 32-45.

- Bramley, R., & Lamb, D. (2003). *Precision viticulture. Proceedings of an international symposium held as part of the IX Congreso Latinoamericano*. Santiago, Chile: Centro de Agricultura de Precisión de la Pontificia Universidade Católica de Chile: Making sense of vineyard variability in Australia In: Ortega, R. and Esser, A.
- Capoula Santos, L. (Junho de 2017). "Balança comercial do setor deverá estar equilibrada em 2020". *Portugal Global*, 26-29.
- Cavaca de Oliveira Pinto, M. (2015). *Viticultura de Precisão: Avaliação da variabilidade espacial da produtividade e qualidade na casta Touriga Nacional no Alentejo*. Instituto Superior de Agronomia - Universidade de Lisboa.
- Celorigo de Basto. (29 de 8 de 2019). Obtido de Guia da cidade: <https://www.guiadacidade.pt/pt/poi-celorigo-de-basto-15847>
- Climate, D. (2018). *Clima Cabeceiras de Basto: Temperatura, Tempo e Dados climatológicos Cabeceiras de Basto*. Obtido de Climate-Data: <https://pt.climate-data.org/europa/portugal/cabeceiras-de-basto/cabeceiras-de-basto-57970/>
- Coelho, J. P., & Silva, J. R. (2009). *Agricultura de Precisão- Inovação e Tecnologia na Formação Agrícola*. Associação de Jovens Agricultores de Portugal.
- Comissão Municipal de Defesa da Floresta Contra Incêndios, .. (2015). *PLANO MUNICIPAL DE DEFESA DA FLORESTA CONTRA INCÊNDIOS (PMDFCI)*. Município de Celorigo de Basto.
- Cunha et al, M. (2003a). Early estimate of wine production using airborne pollensamples: application to northern Portugal. *Polen* 13, 325–331.
- Cunha, M., Abreu, I., Pinto, P., & Castro, R. (2003b). Airborne pollen samples forearly-season estimates of wine production in a Mediterranean Climate ofNorthern Portugal. *Am. J. Enol. Vitic.*, 54, 189–194.
- Cunha, M., Marçal R. S., A., & Silva, L. (2010). Very early prediction of wine yield based on satellite data from Vegetation. *International Journal of Remote Sensing*, 3125-3142.
- Cunha, M., Marcal, A., & Silva, L. (2010). Very early prediction of wine yield basedon satellite data from VEGETATION. *Int. J. Remote Sens.*, 31, 3125–3142.
- Cunha, M., Ribeiro, H., & Abreu, I. (2015). Pollen-based predictive modelling of wine production: application toan arid region. *European Journal of Agronomy*, 42-54.

- Daveau et al, S. (1994). *Geografia de Portugal; II O Ritmo Climático e a Paisagem*. Lisboa: Edições João Sá da Costa.
- Department of the Interior, U., & Geological Survey, U. (2016). *Landsat-Earth Observation Satellites*. Science for a changing world.
- Dunn, G. (2010). Yield Forecasting, Grape and wine research and development corporation.
- ESA. (2 de julho de 2019). *Copernicus Open Access Hub*. Obtido de Copernicus: <https://scihub.copernicus.eu/>
- ESA, E. S. (22 de Maio de 2019). *Landsat*. Obtido de Esa eduspace: http://www.esa.int/SPECIALS/Eduspace_PT/SEMUTD65P1G_0.html
- Esser, A., Ortega, R., & Santibáñez, O. (1998). *Nuevas Tecnologías para Mejorar la Eficiencia Productiva en Viñas*. Tecnología.
- Gaida, W., Breunig, F. M., Galvão, L. S., Teles, T. S., & Balbinot, R. (2016). *Variações da reflectância e dos índices de vegetação em função dos parâmetros da modelagem topográfica no Parque Estadual do Turvo, Rio Grande do Sul, Brasil*. Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía.
- GRAP, G. d. (2015). *Spatial analysis of agricultural data*. Obtido de Universitat de Lleida: <http://www.grap.udl.cat/en/research/lines/mapping.html>
- Gultekin, O., Abdullah, S., & Fatih Goksel, P. (2017). Precision viticulture tools to production of high qualites grapes. *Scientific Papers. Series B, Horticulture*. Vol. LXI, 2017, 209-217.
- Hall, A., Lamb, D., Holzapfel, B., & Louis, J. (2002). *Optical remote sensing applications in viticulture*. Australian Journal of Grape and Wine.
- Hall, A., Lamb, D., Holzapfel, B., & Louis, J. (2002). Optical remote sensing applications in viticulture - a review. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, 36-47.
- INESCTEC, A. (21 de Maio de 2019). *AgIoT is modular and open source IoT solution for agrofood domain*. Obtido de Agiot.inesctec: <http://agiot.inesctec.pt/>
- INESCTEC, A. (21 de Maio de 2019). *AgIoT is modular and open source IoT solution for agrofood domain*. Obtido de <http://agiot.inesctec.pt>

- Instituto da Vinha e do Vinho, a. (4 de Setembro de 2019). *Exportação*. Obtido de <https://www.ivv.gov.pt/np4/499/>
- IPMA, I. P. (1971-2000). *Normais Climatológicas - 1971-2000 - Temperatura do ar - Braga*. Obtido de <https://www.ipma.pt/pt/oclima/normais.clima/1971-2000/>
- Lillesand, T. M., & Kiefer, R. W. (1999). *Remote Sensing in Precision Agriculture: An Educational Primer Contents*. J.W. & Sons.
- Marques, H. (1987). Região demarcada dos vinhos verdes. *Revista da Faculdade de Letras - Geografia, III*, 135-242.
- Márquez, L. (14 de Setembro de 2013). Mecanização Agrícola no Mundo: Perspetivas e Tendências. *AGROTEC*, 3-4. Obtido de AGRONEGÓCIOS: <http://www.agronegocios.eu/noticias/mecanizacao-agricola-no-mundo-perspetivas-e-tendencias/>
- Mesquita, A. (2014). O avanço dos drones. *Agro DBO*, 20-25.
- Nuske et al, S. (2014). Automated visual yield estimation in vineyards. *J. Field Rob.*, 31, 837-860.
- Pedersen, S. M., & Lind, K. M. (2017). *Precision Agriculture: Technology and Economic Perspectives*. Springer.
- Pereira, E. (1989). *Notícia explicativa da folha 10-A de Celorico de Basto*. Serviços Geológicos de Portugal .
- Pimentel Castro Coelho, J., & Marques da Silva, J. (2009). *Agricultura de Precisão*. Associação dos Jovens Agricultores de Portugal .
- Pinelli, N. (2015). *O que é agricultura de precisão?* Academia DRAFT.
- Plant, R. (2001). *Site-specific management: the application of information technology to crop production*. Comput Electron Agric.
- Portugal Global, .. (2018). *Vinhos portugueses crescem no mercado internacional*.
- Proffitt, T., Bramley, R., Lamb, D., & Winter, E. (2006). *Precision Viticulture: A New Era in Vineyard Management and Wine Production*. WineTitles.
- Ramalho, P. (20 de Janeiro de 2017). *A evolução e os desafios da Agricultura Portuguesa*. Obtido de *Maia Primeira Mão*: <http://www.primeiramao.pt/2017/01/20/evolucao-os-desafios-fa-agricultura-portuguesa/>

- Raza, Q. d. (2019). *Quinta da Raza - A vinha*. Obtido de Quinta da Raza- A family estate since 1769: <http://www.quintadaraza.pt/pt/gca/index.php?id=31>
- Raza, Q. d. (2019). *Quinta da Raza - Os projetos*. Obtido de Quinta da Raza- A Family estate since 1769: <http://www.quintadaraza.pt/pt/gca/index.php?id=11>
- Robrigo, O. (2016). *Drones sobre o campo: avanços tecnológicos ampliam as possibilidades do uso de aeronaves não tripuladas na agricultura*. FAPESP.
- Rodrigues, A. (11 de Fevereiro de 2018). *A Tecnologia ao serviço da Agricultura*. Obtido de AGROPORTAL: <https://www.agroportal.pt/tecnologia-ao-servico-da-agricultura-andre-rodrigues/>
- Saianda, B. R. (2017). *VITICULTURA DE PRECISÃO: Avaliação e validação da variabilidade espacial da produção e qualidade recorrendo a monda de cachos, na casta Touriga Nacional*.
- Saianda, B. R. (2017). *Viticultura e Enologia*.
- Santos, F. A. (s.d.). *Viticultura de precisão. Gerir a vinha com precisão*. Departamento de Agronomia. Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro.
- Smit, J., Sithole, G., & Strever, A. (2010). *Vine Signal Extraction- an Application of Remote Sensing in Precision Viticulture*.
- SOGRAPE, V. d. (s.d.). *Guia das Vinhas*. Obtido de O ciclo vegetativo da Vitis Vinífera: https://www.sograpevinhos.com/enciclopedia/guia_vinha/ciclo
- Sort, X., & Ubalde, J. (2005). *Aspectos de viticultura de precisión en la práctica de la fertilización razonada*. Obtido em 06 de 05 de 2019, de ACE-Revista de Enología: http://www.acenologia.com/ciencia73_1.htm
- Spencer, J. (2011). *Historial sobre a aplicação da detecção remota em cabo verde*. In Seminario de Cartografia e Geodesia.
- SUHET. (2013). *Sentinel -2 User Handbook*. European Space Agency - Agence spatiale européenne.
- TerraPro, T. (2016). *Mapeamento do vigor vegetativo - NDVI*. Obtido de <https://www.terra-pro.net/servicos>
- Walkins, R. (1997). Vineyard site suitability in Eastern California. *GeoJournal*, 229-239.

- Weather, S. (1980 a 2016). *Condições meteorológicas médias de Celorico de Basto*.
Obtido de Weather Spark: <https://pt.weatherspark.com/y/32458/Clima-caracter%C3%ADstico-em-Celorico-de-Basto-Portugal-durante-o-ano#Sections-Summary>
- Wiegand, C., Richardson, A., Escobar, D., & Gerbermann, A. (1991). Vegetation indices in crop assessments. *Remote Sensing of Environment*, 35, 105-119.