

Estimativa da produção de uva na casta Syrah com recurso a análise de imagem

Guilherme Fonseca Maia

Dissertação para obtenção do grau de Mestre em

Engenharia da Viticultura e Enologia

Orientador: Doutor Carlos Manuel Antunes Lopes, Instituto Superior de Agronomia

Juri:

Presidente: PhD Joaquim Miguel Rangel da Cunha Costa, Professor Auxiliar do(a) Instituto Superior de Agronomia da Universidade de Lisboa

Vogais: Doutor Carlos Manuel Antunes Lopes, Professor Associado com Agregação do(a) Instituto Superior de Agronomia da Universidade de Lisboa

Vogais: Doutor Ricardo Nuno da Fonseca Garcia Pereira Braga, Professor Auxiliar do(a) Instituto Superior de Agronomia da Universidade de Lisboa

Para os meus pais Herculano e Terezinha

Agradecimentos

Desejo expressar aqui os meus sinceros agradecimentos a todos quantos, de algum modo, contribuíram, pelo seu apoio, para a concretização deste trabalho, nomeadamente:

Ao Professor Carlos Lopes, meu orientador, por toda a disponibilidade e orientação prestada durante a realização deste trabalho, pelos ensinamentos e transmissão da admiração pela viticultura;

Ao Mestre Gonçalo Victorino por toda a disponibilidade, orientação, ajuda, aconselhamento e apoio ao longo da recolha de dados e na elaboração deste trabalho;

Ao meu colega de tese, José Queiroz, pela amizade, espírito de camaradagem, ajuda na recolha de dados, apoio e compreensão;

Aos meus pais por todo o apoio para seguir os meus sonhos e pela força transmitida para realizar os mesmos como o no apoio a este projeto e por todo o amor incondicional;

À minha namorada mestre, Catarina Baião, por toda a força, carinho e amor transmitido, pelo apoio incondicional nos piores e melhores momentos;

A todos os Professores que tive, ao longo do Mestrado de Enologia e Viticultura, pela paciência e pelos ensinamentos transmitidos;

A toda a secção de Viticultura pela ajuda prestada;

À turma de Mestrado pela amizade e companheirismo;

Aos meus sócios Luis Formiga e Diogo Yebra pelo companheirismo;

À equipa de futsal do Isa pela amizade e companheirismo.

Resumo

A estimativa de produção é vista atualmente como um ponto chave para a melhor compreensão da viticultura atual e indústria vitivinícola em geral. A aplicação da tecnologia de imagem, tem sido desenvolvida de modo a substituir as tradicionais metodologias de estimativa, baseadas na amostragem de alguns componentes de rendimento, fatores ambientais e ou culturais.

Neste estudo apresentam-se os resultados obtidos num trabalho experimental, efetuado numa vinha do Instituto Superior de Agronomia, localizada na Tapada da Ajuda em Lisboa, com o objetivo de estimar a produção, da casta Syrah, através do desenvolvimento de diversas metodologias e para estimar a área de cachos projetada nas imagens recolhidas pelo robô autónomo VINBOT. Ao longo das várias fases fenológicas do ciclo biológico da videira, foram capturadas imagens de segmentos de metro de sebe, com a câmara RGB-D do robô VINBOT. Para além disso foram ainda obtidas imagens na vinha e em laboratório utilizando uma câmara manual RGB-D (Canon D2500).

Relativamente à taxa de crescimento do cacho, observou-se um fator de crescimento do peso do cacho de 2,2 desde o bago de ervilha até a maturação e de 1.0 desde o pintor até a maturação. Verificou-se que a eficácia em estimar o peso do cacho a partir da sua área projetada é particularmente elevada sendo ao bago de ervilha ($R^2=0,84$), pintor ($R^2=0,84$) e maturação final ($R^2=0,83$). Quanto à visibilidade dos cachos na sebe manipulada através de desfolha, observou-se que 82% a 73% dos cachos estão encobertos por alguma parte vegetativa. A esse valor deve ser acrescentado que 19% a 9% dos cachos encontram-se ocluidos por outros cachos. Ao bago de ervilha e Pintor ouve uma sobrestimação do rendimento e na Maturação Final ouve uma subestimação do valor do rendimento final.

Podemos concluir que a estimativa de rendimento efetuada através da análise de imagem, é uma alternativa para se conhecer a variabilidade espacial do rendimento, atempadamente. Todavia vários desafios como o uso mais eficiente do vinbot, a utilização de todas as potencialidades do robô e maior desenvolvimento de algoritmos para ajudar na modelação, têm de ser ultrapassados no futuro, para uma melhor utilização da análise de imagem como ferramenta para estimativa de rendimento.

Palavras-chave: Análise de Imagem, Estimativa de Rendimento, Robótica, Vinbot, Viticultura de Precisão

Abstract

The yield estimation today is seen as a key point for a better understanding of the current viticulture and the wine industry in general. The application of imaging technology has been developed to replace traditional estimation methodologies based on the sampling of some yield components, environmental and or cultural factors.

This study presents the results obtained in an experimental work carried out in a vineyard of the Instituto Superior de Agronomia, located at Tapada da Ajuda in Lisbon, to estimate the grape yield of the Syrah variety. Several methodologies to estimate the cluster area in the 2D images in the images collected by the autonomous robot VINBOT were used Throughout the various phenological phases of the vine's biological cycle, images of the vines were captured with the RGB-D camera of the Vinbot robot. In addition, other's images were obtained in the vineyard and in the laboratory using a manual RGB-D camera.

Regarding the growth rate of bunch weight, a growth factor of 2.2 from pea size to harvest and 1.0 from veraison to harvest were observed. The accuracy in estimating cluster weight from its projected area was found to be particularly high at pea size ($R^2 = 0.84$), Veraison ($R^2 = 0.84$) and harvest ($R^2 = 0, 86$). Regarding the visibility of the bunches on the vine, it was observed that 82% to 73% of the bunches were covered by some vegetative organ. To this occlusion it should be added 19% to 9% of the bunches that were occluded by other bunches. At the pea size and veraison occurred an overestimation of the yield. At Final Maturation an underestimation of the value of the final yield was observed.

We can conclude that the yield estimation performed by image analysis is an alternative to know the spatial variability of the yield in a timely manner. However, several challenges have to be overcome in the future for better use of image analysis as a tool for yield estimation.

Key Words: Image Analysis, Precision Viticulture, Robotics, Vinbot, Yield Estimation

Índice

Agradecimentos	i
Resumo	ii
Abstract	iii
Índice de Figuras	vi
Índice de Tabelas	viii
Lista de Siglas e Acrónimos	ix
1. Introdução	1
1.1 Generalidades	2
1.1.1. A importância da viticultura em Portugal e no mundo	2
2. Revisão Bibliográfica	5
2.1. A viticultura de precisão	5
2.1.2. Plataformas Mecânicas	8
2.2. Estimativa de rendimento em viticultura	11
2.3. Metodologias para estimativa do rendimento	12
2.4. Análise de Imagem	14
3. Material e Métodos	17
3.1. Caracterização da Vinha	17
3.2. Robot Vinbot	21
3.3. Acompanhamento da evolução fenológica e grau de oclusão das inflorescências	22
3.4. Delineamento Experimental	22
3.5. Metodologias utilizadas	24
3.5.1. Análise e comparação do desenvolvimento dos diferentes componentes de rendimento	25
3.5.2. Modelo para a estimativa dos cachos encobertos pela folhagem	26
3.5.3. Modelo de oclusão de cachos por outros cachos	27
3.5.4. Modelo para estimativa do peso do cacho	29
3.5.5. Modelo de Crescimento do Bago	30
3.5.6. Intensidade e severidade de escaldão	30
4. Resultados e Discussão	32
4.1. Caracterização das componentes do rendimento observadas	32
4.2. Correlação entre componentes de rendimento na imagem vs valor real	33
4.3. Modelo para a estimativa dos cachos encobertos pela folhagem	35
4.4. Modelo para a estimativa de cachos encobertos por outros cachos	36
4.5. Relação entre área projetada do cacho e peso do cacho	37
4.6. Factor de crescimento do bago	38
4.7. Estimativa média do escaldão dos bagos	40
4.8. Estimativa do Rendimento	41
5. Conclusões	42
Bibliografia	45
Anexos	49
Anexo A – Programa ImageJ – Algoritmo de análise de imagem	49
Anexo B – Metodologia de recolha de imagens capturadas com câmara fotográfica Nikon D5200	51

Anexo C- Coeficiente de correlação de Pearson (r), entre as componentes do rendimento na imagem Vinbot e respectivos valores observados, nos vários estados fenológicos.	52
Anexo D-Escala de BBCH adaptada à vinha.....	53
Anexo E-Estados fenológicos da Videira – (Escala Baggiolini).	54

Índice de Figuras

Figura 1 - Exemplo de carta de produtividade produzida através da aplicação de conceitos de detecção remota.	7
Figura 2 - Exemplos de tecnologias de utilização na vinha (sepectrom tm e multiplex 3 respectivamente).....	8
Figura 3 – Exemplos de plataformas robóticas (Vinbot e VineScout).....	10
Figura 4 - Exemplo de máquina vindimadora.....	11
Figura 5 - Exemplo de robot vineguard.....	11
Figura 6 - Dispositivo nos arames (a) célula de carga alinhada com o arame junto ao poste final. (b) Crescimento do cordão envolvendo o arame. (c) Polia para apoiar o arame num poste intermédio.	14
Figura 7 - Exemplo de foto capturada pelo Vinbot e analisada com programa ImageJ.....	15
Figura 8 - Imagem a partir do Google Earth da vinha do almotivo (Tapada da Ajuda).....	18
Figura 9 - Imagem do delineamento experimental da vinha do almotivo.....	18
Figura 10 - Precipitação e temperatura média mensais em 2018, na tapada da ajuda.....	19
Figura 11 - Exemplo de uma folha adulta e cacho Syrah.	20
Figura 12 - Exemplo de videira conduzida em MVA podada em cordãoroyat).....	20
Figura 13 - Imagem do Robot Vinbot.....	21
Figura 14 - Mapa da Parcela, do Google Earth com localização dos seis "Smart Points" usados para a recolha de dados.....	23
Figura 15 - Etiquetas a identificar os cachos no sp3.....	24
Figura 16 - Sequência de fotos do mesmo SP3 nas três fases de captura de imagem. Foto A imagem sem desfolha,Foto B imagem desfolha parcial. Foto C imagem desfolha total.	27
Figura 17 - Sequência de fotos do mesmo metro do SP6 contendo as diferentes camadas de cachos.Imagem A imagem com 3 layers, Imagem B Imagem com 2 layers, Imagem C imagem com 1 layer, Imagem D imagem sem sem cachos.....	28
Figura 18 - imagens retiradas na fase de maturação final para análise da área do cacho...	29
Figura 19 - Sequência de imagens recolhidas para o modelo de crescimento do bago nas três fases distintas.....	30
Figura 20 - Exemplos de cachos com diferentes severidades de escaldão.....	31
Figura 21 - Imagens capturadas em dois estados de desenvolvimento onde se pode observar o efeito do escaldão nas vinhas.....	31
Figura 22 - Número médio de inflorescências por metro no estado fenológico, cachos separados e número médio de cachos à vindima por metro, por SP.	32
Figura 23 - Número médio de cachos ao pintor, por metro e número médio de cachos à vindima por metro, em cada SP.....	33

Figura 24 - Relação entre a porosidade sebe (variável independente) e a percentagem de cachos visíveis (variável dependente), com respectiva equação polomial de 2º grau e coeficiente de determinação (R^2), estado fenológico bago de ervilha, n=15.	35
Figura 25 - Relação entre a porosidade sebe (variável independente) e a percentagem de cachos visíveis (variável dependente), com respetiva equação polinomial de 2º grau e coeficiente de determinação (r^2), estado fenológico pintor, n=15.	36
Figura 26 - Relação entre a porosidade sebe (variável independente) e a percentagem de cachos visíveis (variável dependente), com respetiva equação polinomial de 2º grau e coeficiente de determinação (r^2), estado tecnológico maturação, n=15.	36
Figura 27 - Relação entre a área projetada do cacho (variável independente) e o peso do cacho (variável dependente), com respetiva equação de regressão e coeficiente de determinação (r^2), estado fenológico, bago de ervilha, n=85.	37
Figura 28 - Relação entre a área projetada do cacho (variável independente) e o peso do cacho (variável dependente), com respetiva equação de regressão e coeficiente de determinação (r^2), estado fenológico, pintor, n=70.	38
Figura 29 - Relação entre a área projetada do cacho (variável independnete) e o peso do cacho (variável dependente), com respetiva equação de regressão e coeficiente de determinação (r^2), estado fenológico, maturação, n=144.	38
Figura 30 - Aspetos em estudo para o crescimento do bago nos três estados fenológicos	39
Figura 31 - Histograma de severidade de escaldão.....	40
Figura 32 - Percentagem de intensidade de escaldão por metro linear (eixo horizontal representa cada SP).	41

Índice de Tabelas

Tabela 1 - Países com maior área de vinha e respetiva produção (2016).	3
Tabela 2 - Área de vinha (ha) e produção de vinho (hl) por região vitivinícola no continente (2016). Adaptado de IVV, 2017.....	4
Tabela 3 - Características técnicas da câmara Kinect v2. Fonte: adaptado de Lachat et al., (2015).	22
Tabela 4 - Estados fenológicos correspondentes às passagens do robô vinbot e respetivos registos e componentes de rendimento	26
Tabela 5 - Média do rendimento e das suas componentes medidas à vindima.....	32
Tabela 6 - Coeficiente de correlação de pearson (r), entre as componentes do rendimento na imagem vinbot e respetivos valores observados, nos vários estados fenológicos.	34
Tabela 7 - Resumo da oclusão (%) média de cachos por outros cachos, por estado fenológico	37
Tabela 8 - Área média do bago e do cacho, peso médio do cacho (média) , o fator de crescimento da área do bago, da área do cacho e do peso do cacho, nos três estados fenológicos indicados.....	39
Tabela 9 - Valores de estimação.	42

Lista de Siglas e Acrónimos

AP - Agricultura de Precisão.

BBCH - Escala fenológica desenvolvida para várias culturas por Bayer, BASF, Ciba- Geigy e Hoechst.

GIS - Sistema de Informação Geográfica.

GPS - Sistema de Posicionamento Global.

IAF - Índice de Área Foliar.

INE - Instituto Nacional de Estatística.

IPMA - Instituto Português do Mar e da Atmosfera.

ISA - Instituto Superior de Agronomia.

IVV - Instituto da Vinha e do Vinho.

LIDAR - Light Detection and Ranging.

NDVI - Normalized Difference Vegetation Index.

OIV - Organização Internacional da Vinha e do Vinho.

PCD - Plant Cell Density.

RDD - Região Demarcada do Douro.

RGB - Red Green and Blue.

RVI - Ratio Vegetation Index.

SAU - Superfície Agrícola Utilizável.

SP - Smart Point.

UAV - Veículo Aéreo não Tripulado.

VP - Viticultura de Precisão.

VRT - Variable Rate Technology.

1. Introdução

As variabilidades temporais e espaciais dos componentes de rendimento sempre foram variáveis com impacto no rendimento de uma vinha.

De forma a mitigar os efeitos da variabilidade temporal e espacial a viticultura tem desenvolvido ferramentas que permitem uma maior monitorização dos acontecimentos relevantes para a videira durante o seu ciclo de desenvolvimento e produção e assim atuar conforme as necessidades da videira e os objetivos do agricultor.

No entanto conhecer o rendimento de uma vinha continua a ser um processo árduo. Ao longo dos anos foram desenvolvidas diferentes metodologias de forma a obter uma estimativa de rendimento fidedigna com o rendimento final real.

Essa estimativa pode ser executada de forma manual, com a contagem e ou pesagens de inflorescências de cachos por videira ou bagos por cachos. Este tipo de estimativas, apesar de serem as mais utilizadas na viticultura atual, apresentam desvantagens ao nível do tempo que demoram a ser realizadas e também devido ao facto de apenas estudar uma pequena parte da variabilidade espacial de uma vinha.

De forma a suprimir estas desvantagens, diferentes técnicas de estimativa de rendimento foram desenvolvidas utilizando ferramentas como a deteção remota (Hall et al. 2002), a medição de tensão de arames (Bloom e Tarara, 2009), e a análise de imagem (Nuske et al 2011, Aquino et al 2018). Com o desenvolvimento destas técnicas encontraram-se melhorias nas estimativas de produção, no entanto, ainda se encontra muito por desenvolver de forma a suprimir a variabilidade espacial de uma vinha.

Atualmente, com o desenvolvimento tecnológico ao nível da viticultura de precisão, foi implementado o uso de robots terrestres autónomos ou não, que incorporam uma panóplia de diferentes tecnologias de monitorização, recolha de imagem, e georreferenciação, e desta forma tenta-se suprimir as variabilidades espaciais de uma vinha com uma maior capacidade de recolha de informação, sendo o Vinbot um desses exemplos.

1.1 Generalidades

1.1.1. A importância da viticultura em Portugal e no mundo

Numa perspetiva global a viticultura apresenta-se como sendo uma atividade socioeconómica relevante para muitos países sendo que a grande parte destes países encontram-se situados entre as latitudes 30°N e 50°N pois é nesta zona do globo que a planta *Vitis vinifera* encontra as condições ideais para se desenvolver tanto a nível climatológico como edáfico. Todavia, com o desenvolvimento tecnológico e científico da viticultura e o aparecimento de novos produtos enológicos, a viticultura está a conquistar novos territórios que se situam fora da região de conforto da *Vitis vinifera* como é o caso do nordeste brasileiro ou algumas regiões chinesas.

De acordo com os dados da OIV para 2016, a área mundial de vinha para vinho estabilizou desde 2013 nos 7,5 milhões de hectares, dos quais 4 milhões, (53%) na Europa, assistindo-se, no entanto, a uma ligeira tendência de diminuição de área na mesma região. Em sentido contrário encontra-se em crescimento relevante em alguns países asiáticos, nomeadamente a China que tem tido um crescimento exponencial, sendo neste momento o segundo país com maior área vitícola.

Este fator pode levar à ocorrência de uma mudança do paradigma do vinho a nível do poder económico, social e científico.

Todavia apesar do aparecimento de novas zonas de poder no mundo vitícola, os países que sempre tiveram um papel importante no mundo do vinho continuam a ter um lugar de destaque como é o caso da França, Itália, Espanha, países do velho mundo e também os EUA e a Austrália sendo estes já países de um novo mundo de vinhos.

Tabela 1 - Países com maior área de vinha e respetiva produção (2016).
Adaptado de IVV, 2017.

Países	Área ha x 10 ³	Produção hl x 10 ⁶
Espanha	975	39,3
China	847	11,4
França	785	43,5
Itália	690	50,9
Turquia	480	-
Estados Unidos	443	23,9
Argentina	224	9,4
Chile	214	10,1
Portugal	195 (9 ^o)	6 (11 ^o)
Roménia	191	3,3
Austrália	148	13
Africa do Sul	130	10,5
Grécia	105	2,6
Alemanha	102	9
Total Mundial	7500	267

Em Portugal, a viticultura é historicamente uma das atividades socioeconómicas mais relevantes. No contexto do setor agrícola geral, esta indústria com 195 mil hectares (em 2016 - fonte IVV), representa aproximadamente 13% da área plantada total e cerca de 5,5% da Superfície Agrícola Utilizável, (SAU) de Portugal, (3,6 milhões de hectares em 2013 – fonte: INE).

A viticultura estende-se de Norte a Sul do país que, apesar de relativamente pequeno, apresenta uma grande diversidade de variedades de *Vitis vinifera* que se encontram adaptadas a diferentes características edafoclimáticas. Portugal apresenta cerca de 120 castas consideradas autóctones portuguesas ou da Península Ibérica o que reflete bem o vasto e único património genético vitícola português.

Além da grande diversidade de castas autóctones também se encontram plantadas algumas castas estrangeiras por se adaptarem a algumas regiões de Portugal. Estas castas foram e são adotadas para a produção de vinho, algumas até com denominação de origem controlada como é o caso do Chardonnay na região da Bairrada.

Em termos de área Portugal tem a nona maior área de vinha no contexto mundial, mas apresenta uma produtividade mais baixa que outros países com menor área, ocupando o

décimo primeiro lugar. Na tabela 2 encontra-se um resumo da área vitícola portuguesa por região vitícola.

Tabela 2 - Área de vinha (ha) e produção de vinho (hl) por região vitivinícola no continente (2016). Adaptado de IVV, 2017.

Região vitivinícola 2016	Área ha	%	Produção Hl	%
Minho	21 020	11	736 430	12
Trás-os-Montes / Douro e Porto	57 147	30	1 413 750	23
<i>Trás-os-Montes</i>	14 381	7,6	76 549	1
<i>Douro e Porto</i>	42 766	22,5	1 337 201	22
Beiras	47 940	25,2	758 097	13
Tejo	12 874	6,8	551 300	9
Lisboa	19 186	10,1	998 804	17
Península de Setúbal	7 203	3,8	463 035	8
Alentejo	23 375	12,3	1 050 439	17
Algarve	1 722	0,9	10 419	0,2
Total	190 914		5.982.274	

Aos valores da Tabela 2 acrescem as áreas de vinha e respetivas produções das Regiões Autónomas dos Açores e Madeira, obtendo-se uma área de vinha total de 195 mil hectares e uma produção de cerca de 6 milhões de hectolitros, para o ano de 2016. Da área de vinha, destacam-se as regiões das Beiras (que incluem a Beira Atlântica, Terras do Dão, Terras da Beira e Terras de Cister), do Douro e Porto e do Alentejo com 25,2%, 22% e 12,3% da área nacional de vinha, respetivamente. Quanto à produção destacam-se as regiões do Douro e Porto, Alentejo e Lisboa, representando 22%, 17% e 17%, respetivamente. Realçam-se as baixas produtividades na região das Beiras, sendo a principal região em termos de área, no entanto, representando apenas 13% da produção vinícola nacional e na situação inversa as elevadas produtividades na região de Lisboa, com 10,1% da área de vinha nacional e com 17% da produção vitícola nacional.

Com os dados apresentados podemos conferir que sector vitivinícola é um sector com bastante importância a nível económico e social. Portugal é um ótimo exemplo de um mercado de exportações importantes com alta tradição no sector que remonta a bastantes séculos atrás. É um país com bastante tradição o que faz aumentar o valor turístico de todas

as atividades relacionadas com a viticultura e enologia, favorecendo a criação de um mercado de enoturismo altamente diversificado que se situa em todo o território português e que tem vindo a aumentar com o passar dos anos. A oferta apresenta grande diversificação entre regiões, o que aumenta a vontade de conhecer um património ampelográfico de cerca de 120 castas espalhadas por 11 regiões vitícolas, que se caracterizam desde uma viticultura de montanha, (região do Douro), até uma região marítima de características de solo arenoso como é o caso da sub-região de colares, (região de Lisboa).

2. Revisão Bibliográfica

2.1. A viticultura de precisão

Ao longo de vários momentos da história da agricultura, os agricultores, num esforço contínuo, tentam de forma organizada definir as perspetivas de colheita, tendo em atenção os diferentes fenómenos que afetam as diferentes culturas. Devido a esse trabalho os agricultores depararam-se com a variabilidade espacial e temporal das suas culturas, quer em termos vegetativos quer reprodutivos e qualitativos

A viticultura de precisão (VP) visa essencialmente otimizar recursos e fatores de produção no espaço e no tempo, maximizando o rendimento de uma forma sustentável. Através da criação e utilização de mapas de prescrição, proporciona uma gestão mais eficiente dos recursos utilizados, possibilitando de forma genérica atingir três grandes objetivos: tornar a produção mais rentável, reduzir o seu impacto ambiental e diminuir o tempo de ação do agricultor.

A produção e a qualidade das uvas são conhecidas por variarem bastante dentro de cada parcela e ao longo de cada linha na parcela. As consequências mais visíveis desta variabilidade são a incerteza na previsão do rendimento e a chegada de uvas com qualidade inconsistente à adega (Bramley & Hamilton, 2007). Uma parcela apesar de cultivada uniformemente apresenta diferenças que podem ser devidas a inúmeros fatores nomeadamente, as propriedades físicas do solo, o teor de água no solo, a incidência de pragas e doenças, etc. (Braga, 2009).

A viticultura de precisão (VP), visa, tal como no seu conceito mais geral, manter o máximo controlo na gestão da vinha, tomando conhecimento do fato de que há variabilidade nesta cultura. Aumentando o detalhe espacial com que se faz a aplicação de fatores de produção, passa-se de taxas de aplicação média por parcela para cartas com resoluções espaciais menores. Desta forma, torna-se possível a aplicação de fatores de produção de acordo com as necessidades próprias de cada zona da parcela, atingindo-se ganhos de

produtividade, redução de custos e de perdas de fatores de produção aplicados, que têm geralmente impacto ambiental negativo. Para o efeito é auxiliada por uma vasta gama de ferramentas e tecnologias que possibilitam aos técnicos uma tomada de decisão mais robusta e orientada.

A viticultura de precisão pode ser um ótimo recurso para tentar diminuir a referida variabilidade que afeta quer a produção quer o custo da operação.

O progressivo desenvolvimento tecnológico tem permitido o aparecimento no mercado de equipamentos e ferramentas úteis à realização de operações culturais, monitorização e controlo do crescimento da videira. Com a evolução tecnológica a viticultura de precisão pode recorrer hoje em dia a uma variedade de equipamentos, nomeadamente sistemas de posicionamento global (GPS), sistemas de informação geográfica (GIS), sensores para avaliação das características do solo, a deteção remota com auxílio de satélites, aeronaves e UAV's (veículo aéreo não tripulado), equipamentos de tecnologia de taxa variável (VRT), equipamentos para monitorização do rendimento e da qualidade da uva e tecnologias de análise de imagem. Todas estas ferramentas têm o objetivo de facilitar a recolha de informação no terreno e, por sua vez, procurar melhorar o rendimento, a qualidade da produção e ao mesmo tempo otimizar o uso de recursos.

Para melhor compreensão podemos classificar estes equipamentos em dois grandes grupos, o primeiro relacionado com tecnologias de monitorização, como a geolocalização e deteção remota e o segundo em tecnologias de taxa variável e os novos robôs agrícolas (Matese *et al.*, 2015).

Em termos de tecnologias de monitorização encontramos diferentes soluções dependendo do objetivo do uso a que se propõem. As tecnologias de monitorização podem ser classificadas em tecnologias de viticultura de precisão baseada em cartas com características georreferenciadas e tecnologias de VP baseadas em determinações efetuadas por sensores em campo sendo que cada categoria apresenta diferentes vantagens. O primeiro grupo de tecnologias são tecnologias que apresentam um uso rápido, expedito e permitem que a sua utilização seja feita a longo alcance. Pelo contrário as tecnologias de VP de taxa variável baseadas em sensores necessitam de ser realizadas no local em estudo ou requerem a presença de um receptor no local. Todavia permitem uma maior resolução e apresentam resultados mais fidedignos em relação a culturas que estejam implementadas em planos verticais.

A utilização de cartas com as características georreferenciadas é uma das situações mais utilizadas na viticultura de precisão. Uma das tecnologias utilizadas para o desenvolvimento de mapas é deteção remota que consiste no registo da energia emitida ou refletida pela superfície terrestre em diversos comprimentos de onda do espectro eletromagnético e tem várias aplicações na viticultura de precisão (Braga, 2009). Para tal

utilizam-se sensores (ex. câmaras de infravermelhos, térmicas, hiperespectrais, LiDAR) que procuram recolher informação de forma não destrutiva. É comum a utilização de câmaras que detetam e registam a radiação refletida ou emitida pelo corpo em análise (superfície terrestre, parcelas de uma cultura, plantas individuais, folhas, frutos, solo, etc), no caso da vinha procura-se analisar principalmente as videiras, mas também o enrelvamento e o solo a que estão associadas.

A deteção remota é uma das ferramentas mais utilizada em viticultura de precisão, pela capacidade de fornecer rapidamente uma visão global da forma, tamanho e vigor da videira na totalidade da vinha, (Hall *et. al.*, 2002), contribuindo assim para identificar a variabilidade espacial de diversas componentes do desenvolvimento vegetativo e do rendimento da videira, permitindo construir cartas de produtividade. A utilização da deteção remota em vinhas apresenta algumas limitações pois fornece principalmente informações da região superior do coberto, os sensores saturam em elevados níveis de “leaf area index” (LAI) e as particularidades do sistema de condução e implantação da vinha, nomeadamente a altura, extensão, densidade do coberto, a distância e eventual enrelvamento da entrelinha, obrigam ao uso de processos adicionais para produzir mapas realistas. No entanto o objetivo pode também não passar por diminuir as variabilidades, mas sim por definir zonas de maior produtividade a nível quantitativo e ou qualitativo de forma a diminuir custos associados à produção como exemplificado na figura 1.

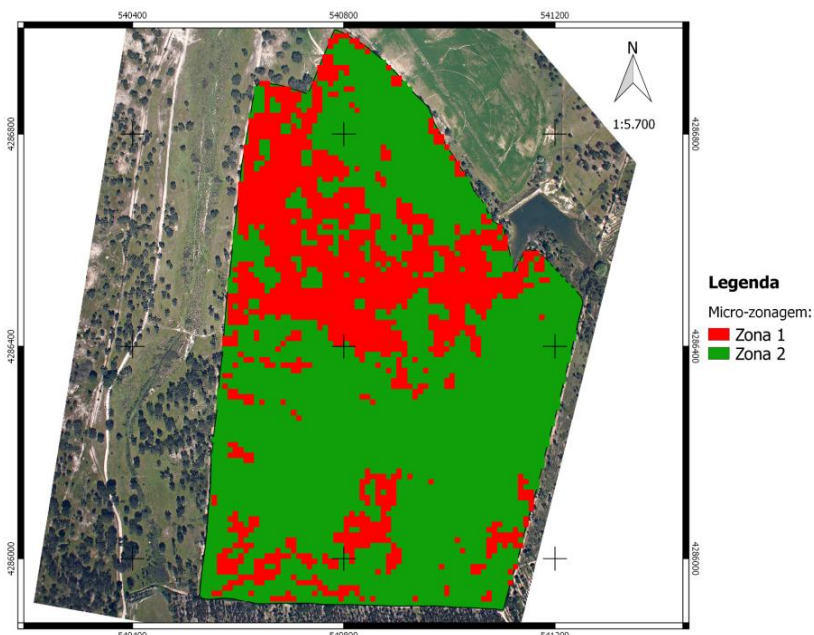


Figura 1 - Exemplo de carta de produtividade produzida através da aplicação de conceitos de deteção remota.

Fonte: *anpromis.pt*

Ao mesmo tempo, tem-se constatado uma rápida disseminação de tecnologias de taxa variável baseadas em determinações efetuadas por sensores, portáteis ou transportadas em máquinas. Com o objetivo de otimizar sistemas de apoio à decisão e conseqüentemente facilitar a implementação de estratégias de intervenção rápidas e precisas para mitigarem a variabilidade espacial e temporal da qualidade e do rendimento da videira obtendo maior estabilidade ao longo dos anos.

Um exemplo da utilização deste tipo de tecnologias é o uso de equipamentos como Spectron™ (Pellenc) (Fig. 2) que pode ser utilizado para recolher informação útil para o controlo de maturação da uva, designadamente o teor em açúcar, a acidez total e o teor de antocianinas. Outro sistema é o Multiplex 3 (Force A) R (Fig. 2) que permite determinar quantitativamente o teor de flavonóis e de antocianinas, entre outros, através da excitação das espécies química por radiação eletromagnética e remissão ao mesmo ou a outro comprimento de onda. Estes dois equipamentos portáteis fazem a recolha de informação dos bagos, de forma não destrutiva e com GPS para georreferência dos mesmos.

Quando aplicadas à viticultura, as ferramentas de agricultura de precisão, permitem, por exemplo, efetuar o mapeamento da variabilidade espacial da qualidade da produção, separando os lotes de acordo com a composição das uvas, possibilitando uma vindima segmentada. Outro exemplo de aplicação de VP é o possível mapeamento da variabilidade da produtividade e do vigor das parcelas, possibilitando uma gestão diferenciada dos fatores de produção no espaço, reduzindo os custos de produção e o impacto ambiental associados à utilização em demasia de certos produtos ou práticas culturais.

A viticultura de precisão pode ser um ótimo recurso para tentar diminuir esta variabilidades que afetam tanto a produção como também o custo da operação.

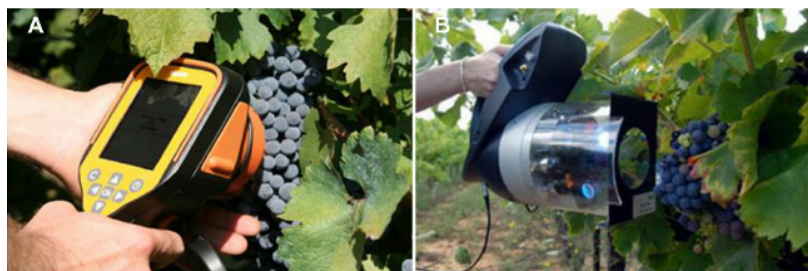


Figura 2 - Exemplos de tecnologias de utilização na vinha (spectrom tm e multiplex 3) para avaliação da maturação da uva. Fonte: Researchgate.net (2015)

2.1.2. Plataformas Mecânicas

Hoje em dia cada vez mais a evolução tecnológica ao nível das plataformas mecânicas autónomas ou auxiliadas por outros veículos móveis tem-nos permitido um conjunto de

vantagens que permitem resolver e controlar problemas de forma mais expedita e mais eficiente. As plataformas mecânicas autónomas no contexto agrícola podem ser divididas em duas áreas de ação, plataformas mecânicas autónomas robóticas de monitorização e plataformas mecânicas auxiliadas por outros veículos móveis que atuam diretamente no auxílio da execução de ações na vinha. As plataformas robóticas de monitorização têm como objetivo a recolha de informação de forma a permitir uma monitorização mais eficiente do desenvolvimento do ciclo da videira. Estas plataformas têm a capacidade de conciliar de forma organizada diferentes tecnologias de monitorização (proximal sensing) de forma a apresentarem informação baseada numa maior base de dados e, assim, fornecer informação mais detalhada. Por exemplo o robô todo-terreno VineScout, que se destaca pela capacidade de monitorizar a vinha de forma autónoma e com recurso a propulsão elétrica e energia solar. Este robô está equipado com vários sensores e equipamentos de deteção não invasivos e que medem parâmetros como o estado hídrico da videira, a temperatura da folha da videira e o vigor da planta (www.vinescout.eu/). O ROMOVI é um robô todo-terreno para vinhas de encosta, capaz de realizar autonomamente manobras e a aquisição de dados. Está equipado com sensores inerciais, sensores de distância baseados em tecnologia laser (Laser Range Finder) recetores GPS, diversas câmaras e outros acessórios de monitorização sensorial (temperatura, humidade e pressão). Tem como principal desafio técnico a elevada inclinação do terreno nestas vinhas, que oculta os satélites GPS impossibilitando a sua utilização durante algumas horas por dia e exige estruturas mecânicas muito estáveis, (Mendes *et al.*, 2017). O VINBOT é um robô móvel autónomo todo-o-terreno equipado com um conjunto de sensores capazes de capturar e analisar imagens de videiras e de dados 3D por meio de aplicações informáticas em nuvem. A plataforma do robô baseia-se num robô móvel comercial Summit XL HL, que é capaz de transportar até 65 kg de carga útil e consiste numa plataforma robótica durável, móvel, inicialmente desenvolvido em ROS Indigo Igloo, atualmente em ROS Kinetic Kame, (frameworks de livre acesso, desenvolvidos para robótica). A plataforma apresenta uma câmara RGB-D Kinect v2 para captura de imagens da videira, metro a metro (tabela 5), dois *laser rangefinders* (LiDAR) para navegar no campo e obter uma reconstrução 3D do coberto vegetal e um pequeno computador para funções computacionais básicas, ligado a um módulo de comunicação. Esta plataforma não-tripulada é capaz de navegar de forma autónoma por terrenos acidentados, podendo subir declives até 45°, com recurso a uma bateria elétrica de capacidade até 8 horas (www.vinbot.eu/)



Figura 3 – Exemplos de plataformas robóticas: Vinbot (esq.) e VineScout (dta) Fonte: Autor

O segundo grupo de plataformas robóticas consiste em equipamentos de tecnologia de taxa variável, como vindimadoras mecânicas que foram desenvolvidas para através de diferentes sensores fornecerem uma colheita de uva mais criteriosa como é caso da figura 4 onde se encontra uma máquina vidimadora equipada com um sistema *Opti-grape* da marca New Holland. As plataformas referenciadas permitem substituir e acelerar processos que muitas vezes eram executados de forma manual, semi-automática ou de forma não diferenciada.

Além das plataformas referenciadas, desenvolvidas ou em desenvolvimento, existem outras que têm como finalidade a aplicação de recursos na vinha, mas já com o auxílio de tecnologias de informação como o caso do Vineguard, (Fig. 5) um pulverizador autônomo e seletivo para as vinhas que utiliza vários sensores para navegação.

Em suma, as plataformas robóticas agrícolas que se têm vindo a desenvolver são bastante variadas consoante as necessidades reais encontradas na viticultura dos dias de hoje, sendo cada vez mais pertinente o uso destas plataformas pois a mão-de-obra humana é cada vez mais escassa e valorizada. Para além disso, o avanço de tecnologias de monitorização e de aplicação com taxa variável permitem uma gestão mais racional dos recursos, reduzindo custos e o impacte ambiental associado às operações agrícolas.



Figura 4 - Exemplo de máquina vindimadora New Holland equipada com *Opti-Grape System*
Fonte:Newholland.pt (2018).



Figura 5 - Exemplo de robot vineguard. Fonte: <http://www.tuvie.com/vineguard-futuristic-concept-robot-for-agriculture/> (2018).

2.2. Estimativa de rendimento em viticultura

A previsão de rendimento é crucial para o planeamento e organização da vindima (Blom *et al.* 2009). Uma boa previsão de rendimento ajuda a economizar recursos, investimentos e planear as necessidades na adega em termos de cubas, depósitos, barricas, aprovisionamento de aguardente para vinificação de vinhos generosos, produtos enológicos, garrafas e outros (Nuske *et. Al.*, 2011; MacMillan & Fisher, 2005). A previsão de rendimento pode influenciar toda a vindima de uma região permitindo uniformizar os parâmetros qualitativos das uvas como é o caso da região de Champagne em França. Pode ainda ser utilizada para planear a necessidade de compra e/ou venda de uva, estabelecer os preços da uva e permitir uma gestão adequada dos stocks de vinho, programar investimentos de forma

mais precisa e também desenvolver estratégias de marketing, fundamentais neste setor altamente competitivo e dinâmico.

Para Dunn (2010), a previsão do rendimento é um passo essencial para obter a regulação de rendimento com sucesso, pelo que existe no setor da viticultura uma grande procura por novos modelos que substituam a tradicional estimativa das componentes do rendimento, efetuada normalmente de forma manual, que o torna um método bastante demorado, com a amostragem de uma proporção muito pequena das videiras, sendo a maior parte das vezes impreciso.

2.3. Metodologias para estimativa do rendimento

Várias metodologias com o objetivo de automatizar e aumentar a precisão da previsão do rendimento têm sido propostas. Estimativas baseadas nas componentes do rendimento (inflorescências, flores, bagos, cachos, etc.) são efetuadas habitualmente de forma manual. Apresentam normalmente uma metodologia demorada e muito exigente em mão de obra o que envolve elevados custos e pode ser destrutiva. Porém, comercialmente, continua a ser a forma mais comum de realizar as estimativas de rendimento, pois é acessível a todos os viticultores, que poderão avaliar uma ou várias componentes do rendimento, em diversas parcelas da vinha e com recurso aos dados históricos realizarem uma extrapolação dos resultados dessa parcela para toda a vinha. Estas estimativas podem ser realizadas em diferentes fases de desenvolvimento da videira, tendo vantagens e desvantagens associadas à fase fenológica desta análise. Análises muito precoces precavêem o produtor com muita antecedência, no entanto têm elevado risco de não se concretizarem, pois, a vinha vai estar sujeita a diversos fatores que podem influenciar as estimativas. O oposto ocorre com estimativas próximas da vindima. O pintor usualmente apresenta bons resultados sendo uma das fases mais adequadas para fazer a previsão de rendimento. É mais provável que uma previsão de rendimento, próxima da data de colheita, tenha um erro menor do que uma previsão desenvolvida em estados iniciais da videira, devido ao desenvolvimento completo das uvas e à redução do tempo para a ocorrência de eventos climáticos destrutivos ou stress bióticos ou abióticos. Por outro lado, previsões antecipadas podem ajudar os viticultores a adaptar as suas estratégias em tempo útil a fim de ajustar a produção a um nível quantitativo e qualitativo desejado (Dunn e Martin, 2008)

O estado fenológico pintor foi também estudado por Lopes, (2009), que concluiu que a componente “peso dos bagos” apresenta ao pintor uma correlação de 0.98 com o peso dos bagos a vindima, referindo que ao pintor se poderia concluir que uma previsão de rendimento pudesse ser utilizada para fornecer uma estimativa de rendimento com um erro significativamente baixo. Ao mesmo tempo o período é suficientemente precoce para o

produtor poder atuar em diferentes aspetos desde de definir se é necessária monda de cachos, até à ajuda na definição da data de vindima e a definição da tipologia de vindima mais adequada (manual ou mecânico).

As metodologias para a estimativa de rendimento com base nos componentes de rendimento, são também pouco sensíveis à variabilidade espacial da vinha pois esta está sujeita a amostragens de pequena dimensão, enferma de alguma subjetividade pelo facto de cada pessoa ter uma sensibilidade diferente para avaliar a mesma componente, podendo levar a estimativas desajustadas e a vinhos de má qualidade decorrentes de práticas culturais desajustadas face à real situação da vinha (Diago et al. 2012). Para Nuske et. al., (2011), o número de cachos por videira e o número de bagos por cacho explicam 60% e 30% da variabilidade do rendimento por videira, respetivamente. Contudo as estimativas referenciadas são muito morosas, utilizando-se por vezes métodos indiretos baseados em relações alométricas, levando assim à procura do desenvolvimento de novas metodologias.

Tirando partido dos arames usados na condução das videiras, Blom & Tarara (2009) instalaram um dispositivo (“trellis tension monitors (TTMs)”) que permite medir continuamente a tensão dos arames e correlacioná-la com a produção estimada, como visualizado na figura 6. Esta abordagem permite estimar o crescimento vegetativo e o rendimento das videiras a partir da tensão nos arames do sistema de suporte da vinha, que dá continuamente informação sobre a evolução da tensão, pelo que os produtores teriam acesso aos dados diários durante todo o período de crescimento do bago permitindo analisar a evolução da produção de uvas durante este período. A análise da tensão dos arames necessita da correção das alterações provocadas pela variação da temperatura diária e ao longo do ciclo e o método enferma, como outros métodos de previsão do rendimento, do mesmo problema do eventual enviesamento na definição da amostra representativa da vinha, uma vez que é crítica a determinação do número de sensores necessários e sua ótima implantação espacial, (Tarara et. al. 2004). Outro aspeto limitante é a necessidade de instalação do equipamento que, para além de ser fixo, requer que toda a infraestrutura de arames esteja em excelentes condições.



Figura 6 - Dispositivo nos arames (a) célula de carga alinhada com o arame junto ao poste final. (b) Crescimento do cordão envolvendo o arame. (c) Polia para apoiar o arame num poste intermédio.
 Fonte: Tarara, et al. (2009).

Outro método de estimativa de produção tem por base a análise polínica da atmosfera (Fraga et al, 2017; Cunha et al. 1999). Este método prevê a produção a partir da análise do pólen existente no ar no período da floração, tendo os primeiros estudos sido realizados por Cour e Van Campo na região de Bordéus e Champanhe. Em Portugal, também foi estudado, por Cunha *et. al.*,(1999) através de um modelo baseado na concentração polínica para determinar a previsão de colheita, em que são instaladas estações em locais estratégicos que capturam o pólen, registam a velocidade e direção do vento, durante o período de floração, para recolher o número de grãos de pólen por metro cúbico de ar, que é utilizado na previsão da colheita. Este modelo conseguiu explicar até 93% da variação da produção, no entanto, a integração de dados agronómicos e climáticos podem fornecer elementos complementares de previsão. Uma das lacunas deste modelo reside no fornecimento de resultados unicamente ao nível de uma região vitícola, não permitindo a separação dos dados por sub-região ou casta. A previsão pode ser obtida com uma precocidade de quatro meses sobre a data da colheita, mas não integra os efeitos dos fatores que influenciam o vingamento e o crescimento do bago, (disponibilidades hídricas, ondas de calor e eventuais efeitos de pragas e doenças), ou seja, a eventual ocorrência de qualquer tipo de acidentes entre a floração e a vindima não são incluídos no modelo.

2.4. Análise de Imagem

Hoje são cada vez mais explorados métodos de análise de imagem para fins de estimativa do rendimento. A análise de imagem consiste na recolha e análise de informação em imagens digitais, capturadas com câmaras de diversas características. Quando tem como objetivo estimar o rendimento pode incidir na contagem direta dos bagos (Nuske *et al.*, 2014 e Diago *et al.*, 2015) ou na estimativa da área de pixéis associada aos cachos (Diago *et al.*, 2012; Lopes *et al.*, 2016). No entanto quando as imagens são recolhidas em condições reais, o ambiente dificulta a aquisição das mesmas devido a diferentes motivos. Entre eles a

dificuldade da diferenciação dos cachos de uvas da vegetação, as oclusões completas ou parciais de cachos por folhas ou mesmo por outros cachos (Fig. 7), ou ainda a incidência de radiação solar sobre o coberto vegetal de forma a impossibilitar a recolha das imagens.

Nas aplicações de análise e reconhecimento automático o grande desafio é detetar os cachos e bagos cuja aparência é variável sob iluminação diferente.



Figura 7 - Exemplo de foto capturada pelo Vinbot e analisada com programa ImageJ.

A recolha de imagens pode ser efetuada de forma manual ou incorporada em plataformas móveis que possibilitem uma recolha de dados automática e eficiente. São várias as técnicas usadas para a análise de imagem. A recolha das imagens pode ocorrer em diferentes fases do ciclo da videira o que pode fazer diferenciar o órgão da videira a identificar. Alguns exemplos de trabalhos de identificação, com o uso de análise de imagem são: as imagens de terahertz para detetar os contornos das uvas, (Federici *et. al.*, 2009), a identificação dos bagos explorando várias pistas visuais (textura, forma e cor), (Nuske *et. al.*, 2011), a identificação do número de flores com base no contraste de cores de imagens RGB de inflorescências (Diago *et al.*, 2013), a reconstrução 3D dos cachos através de fotogrametria de curto alcance (Herrero-Huerta *et. al.*, 2015) e a utilização de algoritmos que combinam as informações de cor e textura, para automatizar a deteção dos bagos de uva, ao isolar as características mais importantes e úteis das imagens (Liu *et. al.*, 2015). Existe assim uma vasta gama de técnicas de análise de imagens que permitem a identificação de diferentes aspetos de desenvolvimento da videira. Porém, esta tecnologia ainda apresenta algumas limitações como o caso de a identificação ter de ser feita isolando os cachos e apenas identifica aquilo que consegue observar. Para ser uma ferramenta expedita na viticultura de precisão ainda é necessário continuar a investigação de forma a perceber como interligar as diferentes tecnologias em desenvolvimento, de forma a retirar o melhor de cada uma.

O tratamento de imagens pode ser realizado de forma manual ajustando os parâmetros em estudo com o uso do software Image J (Fig. 6). De forma a facilitar o trabalho manual podem ser utilizados diferentes softwares com alguns tipos de automatismos de análise de imagem ou de cálculo numérico, geralmente o MATLAB, (Diago *et. al.* 2013) ou o EasyAccess, (Dunn & Martin ,2004).

Existem variadas formas de analisar e tratar as imagens recolhidas, pelo que dependendo da natureza da componente do rendimento em análise poder-se-á justificar a utilização de um software ou metodologia em detrimento de outro.

A análise de imagem evoluiu muito ao longo dos anos, passando de uma análise e tratamento de dados com processos manuais até à utilização de processos que utilizam inteligência artificial, como o desenvolvimento de algoritmos de forma a automatizar a identificação de cachos. Um exemplo de utilização de ferramentas de análise de imagem manual são: o facto de que 90% da variação no rendimento numa investigação experimental ser explicada, com precisão, com a contagem dos bagos por cacho e o número de cachos (Nuske *et. al.*, 2011). Demonstra também que através da recolha de imagens com câmaras fotográficas colocadas em ambos os lados de um veículo conduzido ao longo dos bardos de uma vinha, foi possível obter estimativas de rendimento automatizado com erro inferior a 9.8% do peso real, através da análise de imagens das formas e textura dos bagos. Indica ainda que a abordagem efetuada não dependeu do contraste de cores, detetando bagos de todas as cores, mesmo aqueles que são de cor semelhante ao das folhas e a possibilidade de avaliar toda a vinha em detrimento de apenas uma amostra.

Outro exemplo reportado por Lopes et al. (2016) para a casta Viosinho e com recurso à análise das imagens, capturadas pela câmara RGB do robô Vinbot, permitiu uma previsão de rendimento com uma precisão de cerca de 80%, em que a área dos cachos foi convertida em kg de uva utilizando uma equação obtida através da relação entre a área de cacho e o peso do cacho obtidos em laboratório, a partir de uma amostra de 98 cachos.

Para Ganesan & Sajiv (2017), a deteção dos contornos (bordaduras) é uma técnica muito útil para aumentar as definições de uma imagem permitindo por sua vez melhorar a qualidade do processo de análise de imagem, no entanto, é muito difícil de executar especialmente em fotografias com muito grão, (conjunto de pixels que não estão a representar a cor, ou a exibição da cena corretamente), onde facilmente se pode confundir bordadura com o ruído. Contudo esta metodologia de análise de imagem baseada na deteção das bordaduras, (contorno), dos bagos e dos respetivos pedicelos já tinha sido explorado por Cubero *et al.* (2014) em cachos das castas tintas Grenache e Tempranillo permitiu determinar com precisão o peso ($R^2 > 0.96$) e o tamanho (diâmetro) ($R^2 > 0.97$) dos bagos,

Behroozi-Khazaei & Maleki, (2017) desenvolveram um algoritmo robusto baseado em redes neurais artificiais (ANN) e algoritmo genético (GA) para segmentar cachos de uvas usando-as próximas da vindima, em fotografias laterais do coberto vegetal, obtendo uma precisão de 99,4% na identificação dos cachos nas imagens em estudo.

Aquino, et al (2018), desenvolveu a construção de algoritmos de análise de imagem, através da deteção de bagos em imagens de videiras. As imagens foram recolhidas durante a noite de forma a facilitar a recolha das imagens. A recolha das imagens foi feita desde que

a videira se encontrava no estado de desenvolvimento bago de ervilha (onde os bagos representam 50% do peso final) até a fase do fecho do cacho (onde os bagos representam 70% do peso final). O autor utilizou um veículo equipado com diversos sensores, de recolha de imagens RGB e também sensores de recolha informação geográfica como o GPS. Desta forma os autores conseguiram através do número de bagos visíveis, em estados precoces do desenvolvimento do cacho prever com algum sucesso o rendimento final aproximadamente 100 dias antes da maturação final.

A análise de imagem com o auxílio de programas de inteligência artificial é uma alternativa que apresenta bons indicadores que permitem considerá-la uma boa ferramenta para a estimação de rendimento, ainda assim apresenta algumas limitações como é o caso do desenvolvimento de algoritmos de forma a estimar não só aquilo que já identifica mas também estimar aquilo que não vê devido a diferentes tipos de oclusão, sem recorrer a ações destrutivas para a videira como as desfolhas.

A análise de imagem em viticultura tem como base a análise de tudo aquilo que é possível ver, no entanto como foi referido acima vários trabalhos estão a ser desenvolvidos para que na análise de imagem não se inclua apenas aquilo que se vê, mas também a parte que não se vê. Para isso é necessária modelação e para a modelação é necessário a recolha de informação complementar. Este trabalho tem o objetivo, usando o robô vinbot, identificar o melhor estado fenológico para estimar o rendimento através da análise de imagem de forma não destrutiva.

3. Material e Métodos

3.1. Caracterização da Vinha

O ensaio decorreu durante o ciclo biológico de 2018, na vinha experimental do Instituto Superior de Agronomia (ISA), denominada vinha do Almotivo que está localizada na Tapada da Ajuda em Lisboa, (38°42'24,61" N; 9°11'05,53" W) (Fig. 8 e Fig. 9). Esta vinha foi plantada em 1998 e é constituída por castas tintas, Touriga Nacional, Syrah, Trincadeira e Cabernet Sauvignon enxertadas com o porta-enxerto 140 Ru, tem uma orientação Norte-Sul, área de 1 ha e inclinação máxima de 9%. O compasso utilizado foi de 1.2 m na linha e 2.5 m na entrelinha o que determinou uma densidade de plantação de 3333 plantas/ha. A parcela de vinha em estudo está conduzida em monoplano vertical ascendente, podada em cordão Royat bilateral misto, com dois pares de arames móveis para orientação da vegetação.



Figura 8 - Imagem a partir do Google Earth da vinha do almotivo (Tapada da Ajuda).

Fonte: Google Earth



Figura 9 - Imagem do delineamento experimental da vinha do almotivo.

Fonte: Google Earth.

O clima da Tapada da Ajuda é, segundo a caracterização de Thornthwaite, mesotérmico, com nula ou pequena eficácia térmica no Verão (C1B'2s2a'), com precipitação moderada no Inverno e défice no Verão. De acordo com as Normais Climáticas da Tapada da Ajuda de 1971/2000, os valores médios de temperatura anual foram de 16,4 °C, com um valor médio de mínima de 11,8 °C, registados no Inverno e um valor médio de máximas de 21 °C, obtidos nos meses de Verão e a insolação média anual é de cerca de 2 512,4 horas. A precipitação média anual é de 725,8 mm, com os valores máximos observados durante os meses de Inverno e os valores mínimos durante os meses de Verão (IPMA, 2018). A figura 10 apresenta a evolução da precipitação e da temperatura média mensal, na Tapada da Ajuda, durante o ciclo fenológico de 2018, em que o mês mais chuvoso foi o mês de março. A precipitação nos meses de março e abril foi superior à média dos últimos 30 anos, promovendo um maior vigor das plantas, dificultando a condução do coberto vegetal e aumentando a pressão das doenças provocadas por fungos, designadamente o míldio e as doenças do lenho. No entanto uma onda de calor de 1 a 6 de agosto provocou um significativo escaldão nos cachos, registando-se os valores mais elevados nos segmentos que tinham sido desfolhados antes da onda de calor.

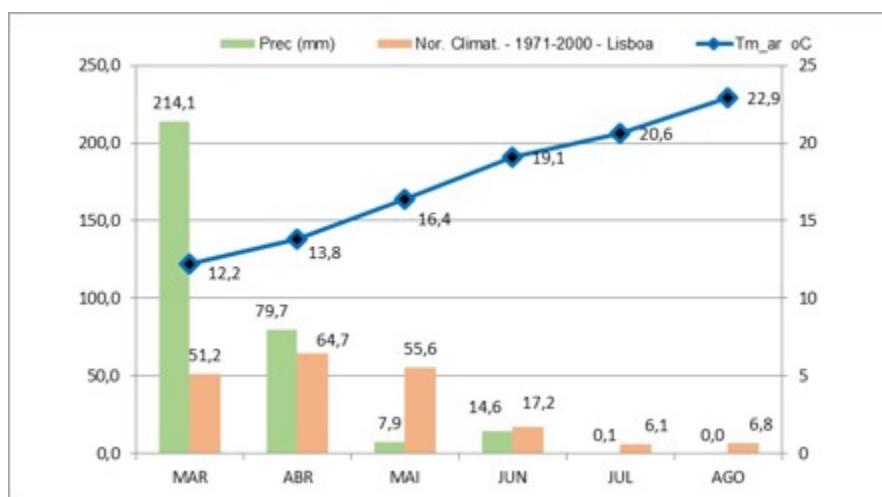


Figura 10 - Precipitação e temperatura média mensais em 2018, na tapada da ajuda. Fonte: adaptado IPMA, (2018).

O solo da Tapada, segundo a classificação de Cardoso (1965), é franco argiloso, descrito como um barro castanho-avermelhado não calcário de basalto. Possui um perfil do tipo Ap (B) C, apresentando um teor elevado em coloides de montemorilonite, o que lhe confere elevada plasticidade quando húmido e rijeza enquanto seco, podendo haver fendilhamento quando o teor de humidade é muito baixo. A expansibilidade é alta, assim como o valor da capacidade de campo, tendo uma elevada capacidade utilizável nos primeiros 50 cm. A sua permeabilidade é rápida a moderada (Sarmento, 1969).

A casta Syrah é considerada como sendo capaz de produzir vinhos de grande qualidade. Supõem-se que seja a consequência do cruzamento espontâneo entre as castas 'Dureza' e 'Mondeuse Blanche', as duas de origem francesa. Para além de se encontrar em França encontra-se noutras regiões do mundo, em particular na Austrália, onde se adaptou bem e é conhecida por "Shiraz" (Farinha, 2007; Albert, s. d.). Reynier (1986) descreve-a como de abrolhamento tardio e maturação média ou de segunda época. O período entre o pintor e a maturação é relativamente curto, compensando o atraso no abrolhamento.

A planta é caracterizada por apresentar um porte semi-ereto, apresenta pêlos abundantes de coloração branca na extremidade do sarmento, folhas adultas com cinco lobos e com seio peciolar aberto (Fig. 11). Os sarmentos são frágeis, de cor verde clara e entrenós longos. Os cachos são longos, medianamente compactos e os bagos apresentam forma elíptica. É uma casta muito sensível à clorose férrica, estando mal-adaptada a solos com teores elevados de calcário ativo. Não deve ser combinada com o porta-enxerto 110 R, devido a problemas graves de incompatibilidade (Christensen et al., 2003).

A casta Syrah revela ser bastante fértil e produtiva, sendo também resistente a doenças, podendo, no entanto, apresentar alguma sensibilidade a ácaros e podridão-cinzenta, principalmente nas fases finais da maturação (CVRBairrada, 2000) Em todo o caso, para obter vinhos de qualidade, os rendimentos devem permanecer baixos (30 a 40 hl/ha. – 5 a 6 ton/ha.), conseguindo desta forma obter vinhos tintos de bons teores alcoólicos, aptos ao envelhecimento e de grande qualidade. São geralmente de cor intensa (azulado), muito aromáticos, finos e complexos (fruta madura, violeta, couro, etc.), tânicos, encorpados e pouco ácidos (Christensen et al., 2003). A superfície vitícola atual dedicada a esta casta é de 5.849 ha, representando 3% a nível nacional: 3% (IVV - Castas mais utilizadas, et. Al., 2017).



Figura 11 - Exemplo de uma folha adulta e cacho Syrah.
Fonte: catálogo de castas IVV (2017).

A forma de condução em estudo, (MVA podado em cordão Royat) assenta numa estrutura perene constituída por um tronco e dois braços dispostos horizontalmente, (bilateral), onde se formam talões geralmente podados a dois olhos, como desmostrado na fig. 12. A vegetação é conduzida verticalmente e amparada por 2 pares de arames móveis. As formas de condução em cordão foram concebidas para reduzir o tempo de poda, pois é executada em talões, evitando a empa e a amarração das varas, sendo também bem-adaptada à pré-poda mecânica, já que os cortes são realizados abaixo do 1.º arame, posicionado imediatamente acima do de condução, (IVV-Castas mais utilizadas, et al. 2017).



Figura 12 - Exemplo de videira conduzida em MVA podada em cordãoroyat)
Fonte:Autor

3.2. Robot Vinbot

O VINBOT é um robô móvel autónomo todo-o-terreno equipado com um conjunto de sensores capazes de capturar e analisar imagens de videiras e de dados 3D por meio de aplicações informáticas em nuvem (Fig. 13).



Figura 13 - Imagem do Robot Vinbot. Fonte: adaptado de Lachat et al., (2015)

A plataforma do robô baseia-se em um robô móvel comercial Summit XL HL, que é capaz de transportar até 65 kg de carga útil e consiste numa plataforma robótica durável, móvel, inicialmente desenvolvido em ROS Indigo Igloo, atualmente em ROS Kinetic Kame, frameworks de livre acesso, desenvolvidos para robótica. Câmara RGB-D Kinect v2 para captura de imagens da videira, metro a metro (tabela 4), Laser rangefinders (LiDAR) para navegar no campo e obter uma reconstrução 3D do coberto vegetal, um pequeno computador para funções computacionais básicas e ligado a um módulo de comunicação.

Esta plataforma não-tripulada é capaz de navegar de forma autónoma por terrenos acidentados, podendo subir declives até 45°, com recurso a uma bateria elétrica de capacidade até 8 horas, para fotografar e digitalizar as linhas de videiras (bardos) e apesar de nesta data recolher os dados com um sistema *LiDAR (Rangefinder a laser)* e uma câmara RGB-D, a plataforma móvel é capaz de incorporar inúmeros outros sensores e tecnologias (www.vinbot.eu/).

Tabela 3 - Características técnicas da câmara Kinect v2. Fonte: adaptado de Lachat et al., (2015).

Resolução câmara infravermelho (IR)	<i>512 × 424 pixels</i>
Resolução imagem câmara RGB	<i>1920 × 1080 pixels</i>
Campo visão	<i>70 × 60 graus</i>
Número de imagens capturadas	<i>30 frames por segundo</i>
Profundidade de campo	<i>de 0.5 a 4.5 m</i>
Poder de discriminação	<i>de 1.4 mm (@ 0.5 m distância) a 12 mm (@ 4.5 m distância)</i>

3.3. Acompanhamento da evolução fenológica e grau de oclusão das inflorescências.

Foi adotada a captura de imagens com a câmara Nikon D5200 de forma a fazer um acompanhamento do desenvolvimento do estado do fenológico de 2 talões selecionados por cada casta de forma a obter uma ideia do desenvolvimento da vinha ao longo do ciclo cultural. Os talões em observação foram designadamente na linha 15, o terceiro talão da videira número 20 (Linha 15 videira 20 talão 3) e na linha 16, o quinto talão da videira número 7 (Linha 16 videira 7 talão 5).

Foram escolhidos dois talões com número de olhos diferentes, um com três olhos e outro com 2 olhos

Para a captura das imagens a camara fotográfica foi colocada num tripé de forma a diminuir as diferenças entre imagens de diferentes estados de desenvolvimento. Além do uso do tripé foi utilizado também um fundo azul de forma a facilitar a visualização do talão na imagem.

O período de recolha de imagens ocorreu desde a terceira semana de março até a segunda semana de junho, sempre que se verificasse alteração do desenvolvimento vegetativo do talão. As imagens e a metodologia pormenorizada encontram-se em anexo B.

3.4. Delineamento Experimental

Para a recolha de dados foram selecionados cerca de 120 metros lineares de sebe correspondentes a cerca de 100 videiras distribuídas por linhas contíguas como indicado na figura 14.

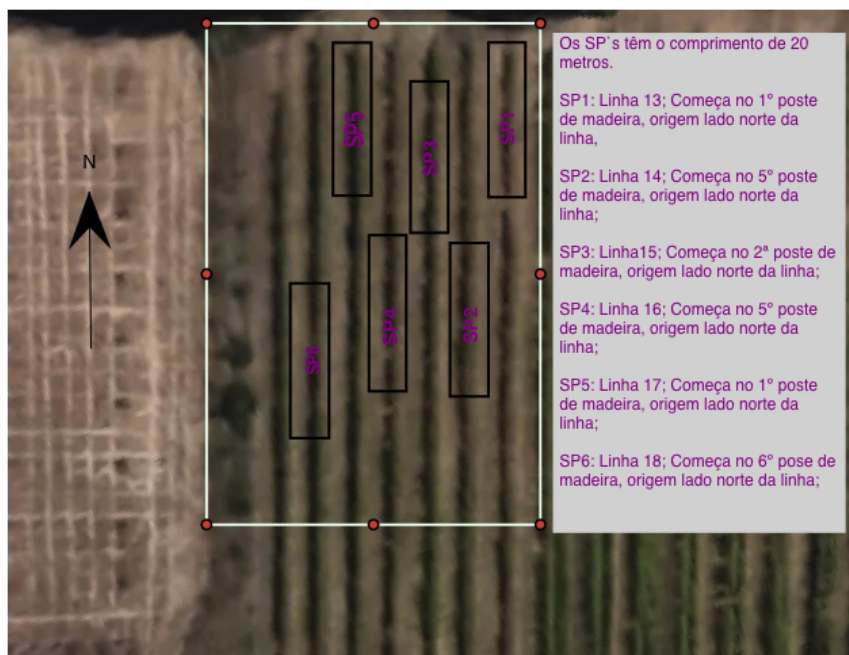


Figura 14 - Mapa da Parcela, do Google Earth com localização dos seis "Smart Points" usados para a recolha de dados.

Fonte: Autor

Em cada linha encontram-se sinalizados 20 metros cerca de 16 videiras que definem um ponto de recolha e verificação de dados, designados por Smart Point (SP). O início e fim dos SP foram assinalados com fitas com riscas vermelhas e brancas no último arame de cada linha e ainda colocadas uma fita com riscas vermelhas e brancas na primeira e última videira de cada SP.

Para permitir uma melhor identificação das imagens e proporcionar uma escala conhecida em cada foto, foi utilizada uma fita métrica desde o início até ao fim do SP, nas várias passagens do Vinbot e na captura de imagens com a câmara Nikon D5200. De forma a ter em conta a variabilidade espacial ao longo das linhas o delineamento experimental seguiu as regras de um delineamento em blocos completos casualizados (Randomized Complete Plot design). O início dos Smart Points foi diferenciado, estando três mais próximos do início da respetiva linha (SP1, SP3 e SP5) e três mais próximos do final das respetivas linhas (SP2, SP4 e SP6). A disposição dos Smart Points foi assim estabelecida devido à forma da parcela de vinha que apresenta a casta Syrah no sistema monopiano vertical. Cada SP foi por sua vez subdividido em três segmentos, o primeiro com 10 metros (aproximadamente 8 videiras), e mais dois com 5 metros (4 videiras e meia), esta segmentação foi identificada com a colocação de uma fita cor-de-rosa na primeira videira de cada uma das subdivisões.

Estas subdivisões foram utilizadas para efetuar as medições detalhadas e as análises destrutivas, iguais para os três estados fenológicos pré-definidos, bago de ervilha (K), pintor (M) e cacho maduro (N). Para isso em cada uma das medições foram efetuadas uma passagem com o Vinbot e fotografados com a câmara Nikon D5200 em cada subdivisão de cada SP, primeiro com o coberto vegetal existente, depois após meia desfolha e seguidamente após a desfolha total. No SP3 todos os cachos de cada segmento foram

identificados com uma etiqueta (Fig. 15), efetuada uma passagem com o Vinbot e fotografados com a câmara Nikon D5200 e posteriormente colhidos para serem analisados em laboratório. O elevado grau de escaldão que a vinha sofreu no já referenciado período de 1 a 6 de agosto exigiu que na última fase de recolha (Cacho Maduro (N) (Vindima)) fossem recolhidos mais 2 metros para posterior análise em laboratório, de forma a minimizar as perdas de produção resultantes da onda de calor.

No laboratório, os cachos foram pesados, fotografados em fundo azul, pesados os respetivos bagos e ráquis e fotografados os bagos em fundo branco.



Figura 15 - Etiquetas a identificar os cachos no SP3.

3.5. Metodologias utilizadas

Durante o ensaio foram efetuadas nove passagens com o robô Vinbot nos seis SP's, nas datas dos estados fenológicos pré-definidos (Tab. 5) e capturadas imagens RGB de ambos os lados das linhas. Com base em cada uma das imagens foi efetuada a contagem real do número de talões, de olhos, de inflorescências e de cachos, conforme aplicável e de acordo com o estado fenológico das videiras. Com o objetivo de encontrar eventuais correlações que permitissem atingir o objetivo proposto de estimar a produção, as passagens foram realizadas desde os estados de desenvolvimento mais precoces o mais cedo possível em relação à vindima, aproveitando o facto de ser mais fácil visualizar, detetar e contar as inflorescências quando estão menos obstruídas pelas folhas, ainda pouco desenvolvidas. Nos estados fenológicos de bago de ervilha, pintor e maturação final além das passagens com o Vinbot, foram recolhidas imagens RGB com uma câmara Nikon D5200 nos primeiros cinco metros de cada SP, inicialmente com a vegetação existente, de seguida com meia esfolha (50%) e no final com desfolha total (100%) da zona de frutificação. No SP3 e em cada estado

fenológico, (bago de ervilha, pintor), foram fotografados com câmara Nikon D5200, etiquetados e colhidos todos os cachos de cada metro linear, nos cinco metros indicados. Em laboratório foram posteriormente fotografados, em quatro perspetivas perpendiculares entre si, todos aqueles cachos, pesados numa balança digital, KERN FCB 3K0.1 e ainda pesados os bagos e os ráquis de cada um dos cachos.

No estado fenológico de maturação final, foram vindimados, contados e pesados todos os cachos de todos os SP's, com exceção do SP3 e de mais 2 metros no SP6 para se obter a produção real por metro linear. Nos restantes 10 metros os cachos remanescentes do SP3 e mais os 2 metros do SP6 foram fotografados com câmara Nikon D5200, etiquetados e colhidos por cada metro. Em laboratório foram posteriormente fotografados e ainda pesados os bagos e os ráquis de cada um dos cachos.

As imagens RGB capturadas pelas câmaras do Vinbot e da Nikon D5200 foram posteriormente analisadas manualmente com o programa ImageJ. Na análise de imagem foi utilizada versão 1.52e do ImageJ, que é um software de utilização livre, desenvolvido pelo National Institutes of Health dos Estados Unidos da América. Este software executa o processamento padrão de imagens, nomeadamente a manipulação do contraste, da nitidez e a deteção dos contornos. Pode calcular áreas, medir distâncias e ângulos, assim como produzir histogramas de densidade e gráficos lineares.

De forma a ser mais perceptível a metodologia em estudo abaixo encontra-se abaixo um pequeno resumo sobre as mesmas e a que se propõem com o desenvolvimento deste trabalho.

3.5.1. Análise e comparação do desenvolvimento dos diferentes componentes de rendimento

Como já referido foram realizadas 9 passagens durante as diferentes fases de desenvolvimento da videira com o robô vinbot de forma a recolher imagens com a câmara do vinbot para posterior análise com o programa Image J de forma a aferir os diferentes pontos em análise dependendo da fase de desenvolvimento em questão com o objetivo de estimar a produção final. Todas as imagens capturadas foram analisadas manualmente com o programa Image J efetuando os passos indicados no Anexo A. Foi também determinado o comprimento de cada imagem, e o número de cachos em cada imagem. Os cachos na imagem foram contados visualmente.

Foram também realizadas 9 visitas ao campo de forma a recolher a informação real em campo (groundtruth) dos aspetos em análise nas imagens do vinbot de forma a estimar a produção final provável, tendo em conta os componentes de rendimento.

Assim com a informação recolhida pretendeu-se estimar com que percentagem de erro é possível obter uma relação entre o número e área de componentes de rendimento identificadas pelo vinbot e o seu número e área real, em cada fase em estudo do desenvolvimento da videira.

Tabela 4 - Estados fenológicos correspondentes às passagens do robô vinbot e respetivos registos e componentes de rendimento

passagem Vinbot	07-03-2018	03-04-2018	20-04-2018	24-04-2018	25-05-2018	11-06-2018	18-06-2018	24-07-2018	23-08-2018
Estado Fenológico (Escala Baggioolini)	A Gomo Inverno (Março)	E Folhas livres (Abril)	F Cachos visíveis (Abril)	G Cachos separados (Abril)	I Floração (Maio)	K Bago chumbo (Junho)	K Bago ervilha (Junho)	M Pintor (Julho-Agosto)	N Maturação (Agosto-Setembro)
Componentes do rendimento observados	alões e olhos	talões olhos abrolhados	inflorescências	inflorescências	n.o inflorescências	cachos	cachos	cachos	cachos

3.5.2. Modelo para a estimativa dos cachos encobertos pela folhagem

O número e/ou fração de cachos visíveis em cada imagem depende da porosidade da sebe, afetando por sua vez a precisão da estimativa de rendimento.

Para estimar a porosidade e a fração de cachos expostos foram capturadas imagens no SP3, através da câmara Nikon D5200, em três estados fenológicos: Bago de ervilha, Pintor e Maturação Final. No último estado fenológico foram recolhidos mais 2 metros adicionais do SP6 face a suprimir as, já referidas, perdas de cachos devido ao escaldão.

O conjunto de imagens recolhido no SP3 e no SP6 é constituído por 3 grupos de imagem: um grupo de fotos dos metros analisados em que não se efetuou qualquer tipo de desfolha, outro grupo de imagens dos mesmos metros após a execução de uma desfolha parcial das folhas (meia desfolha 50%) e, por fim, outro grupo de imagens dos mesmos metros após a execução de uma desfolha total (desfolha total 100%), observando-se apenas os cachos e alguns pâmpanos desfolhados. Para cada metro a câmara foi mantida na mesma posição relativa à linha de videiras. Foi também colocada uma placa azul por trás das videiras a fotografar e colocada uma fita métrica para permitir identificar com rigor a dimensão da imagem fotografada.

Após a recolha das imagens as mesmas foram analisadas através do programa ImageJ. Para cada imagem foi determinado na zona de frutificação, a área total e a área de vegetação (folhas, troncos e cachos) em centímetros quadrados. A razão entre estes dois valores possibilitou calcular a percentagem de porosidade. Para o cálculo da percentagem de encobrimento dos cachos por folhas dividiu-se a área de cachos em cada imagem pela área de cachos da mesma imagem sem folhas. A análise das imagens pelo programa ImageJ está especificada no anexo A.

Com este modelo procurou-se estimar a percentagem de porosidade, através do cálculo área de poros em três diferentes situações em termos de densidade da sebe (sem desfolha, desfolha parcial, desfolha total) e estimar também a percentagem de cachos expostos através do cálculo da área de cachos em cada imagem do metro linear respetivo.

Com os dados colhidos procurou-se comparar os resultados a fim de encontrar correlações entre áreas calculadas a fim de estimar a percentagem de cachos total (encobertos e expostos).



Figura 16 - Sequência de fotos do mesmo SP3 nas três fases de captura de imagem. Foto A imagem sem desfolha, Foto B imagem desfolha parcial. Foto C imagem desfolha total.
Fonte: Autor

3.5.3. Modelo de oclusão de cachos por outros cachos

Para estimar a oclusão de cachos por outros cachos foram capturadas imagens em 5 metros de sebe no SP3 através da câmara Nikon D5200 em três estados fenológicos: Bago de ervilha, Pintor e Maturação Final. De referir que no último estado fenológico foram recolhidos mais 2 metros adicionais do SP6 de forma a suprimir as perdas de cachos devido ao escaldão. Para cada metro a câmara foi mantida na mesma posição relativa à linha de

videiras. Foi também colocada uma placa azul por trás das videiras a fotografar e colocada uma fita métrica para permitir identificar com rigor o comprimento real do metro a fotografar.

O conjunto de imagens capturado para este modelo no SP3 e no SP6, inicialmente, foi recolhido com todas as camadas de cachos (Fig. 17), isto é, foram capturadas imagens com a totalidade dos cachos e posteriormente, após a retirada, por camadas dos cachos que encobrissem outros cachos. Todas as imagens foram analisadas manualmente, determinando-se para cada imagem, a área total de vegetação, a área total de cachos na imagem, e a área de cachos retirada em cada camada e calculada a percentagem de porosidade. O encobrimento em cada camada foi estimado com base na equação 1:

$$O_1 = \frac{Ar_1 - (Ac - Ac_1)}{Ac} * 100$$

Eq. 1

Em que A_c representa a área de cachos de todas as camadas, A_{c1} representa a área de cachos sem a primeira camada de cachos, A_{r1} a área retirada de primeira camada de cachos e O_1 a percentagem de encobrimento da respetiva camada, (primeira neste caso).

Para a estimativa das áreas foi usado o programa ImageJ e foram efetuados os mesmos passos referidos para o modelo de encobrimento de cachos por folhas e indicados no Anexo A.



Figura 17 - Sequência de fotos do mesmo metro linear contendo as diferentes camadas de cachos. A: imagem com 3 camadas; B: Imagem com 2 camadas; C: imagem com 1 camada; D: imagem sem cachos. Fonte: Autor

3.5.4. Modelo para estimativa do peso do cacho.

Para estimar o peso do cacho a partir da área projetada foram capturadas imagens através da câmara Nikon D2500, em laboratório, de quatro quadrantes diferentes e perpendiculares entre si de forma a obter uma área média do cacho o mais representativo possível da realidade, de todos os cachos cortados em cinco metros lineares do SP3, no estado fenológico bago de ervilha (85 cachos). Ao Pintor foram capturadas imagens em laboratório de dois quadrantes diferentes e perpendiculares entre si. Devido ao estudo das fotografias no estado bago de ervilha, concluiu-se que utilizando apenas imagens de dois quadrantes a área média resultante é semelhante á área média resultante da utilização das imagens de quatro quadrantes. Em todos os cachos cortados em mais cinco metros do SP3 (70 cachos) e à Maturação Final foram capturadas imagens em laboratório de dois quadrantes diferentes. Todos os cachos foram cortados em mais 7 metros do SP3, mais 2 metros do SP6 a fim de ter mais dados para avaliar (144 cachos).

As imagens recolhidas foram avaliadas através do programa Image J a fim de se definir a área de cada cacho na imagem e com os resultados dos diferentes quadrantes da mesma imagem estimar a área do cacho. Os passos efetuados no programa ImageJ são indicados no Anexo A.

Após a recolha da imagem os cachos foram pesados em laboratório, numa balança de precisão KERN FCB 3K0,1 e foram registados o peso, a área projetada de cada imagem e a área média projetada das diferentes imagens de cada cacho para posterior correlação entre os dados colhidos a fim de verificar se existe alguma relação entre o peso real do cacho e a respetiva área projetada.

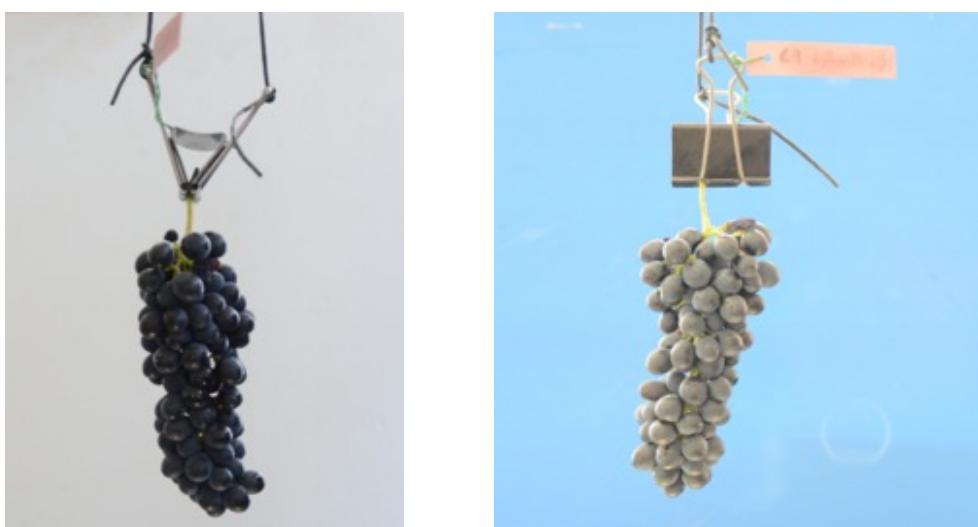


Figura 18 - imagens retiradas na fase de maturação final para análise da área do cacho. Fonte: Autor

3.5.5. Modelo de Crescimento do Bago

Para estimar o fator de crescimento do bago ao longo das fases do seu desenvolvimento, em laboratório foram destacados os bagos de cada cacho e espalhados num fundo branco de esferovite e de seguida fotografados com a câmara Nikon D5200. Para a análise do ImageJ, foram efetuados os mesmos passos utilizados no modelo de encobrimento de cachos por folhas indicados no paragrafo 5, do Anexo A. O diâmetro de cada bago e o diâmetro médio foram calculados considerando que os bagos eram circulares. Com estas imagens o objetivo foi recolher a área de cada bago nas diferentes fases de desenvolvimento em estudo: bago de ervilha, pintor e maturação final e analisar os resultados de forma a verificar se existe alguma correlação entre diferentes fases de desenvolvimento do cacho e estabelecer um fator de crescimento do bago e estudar a sua implicação no peso final do bago.

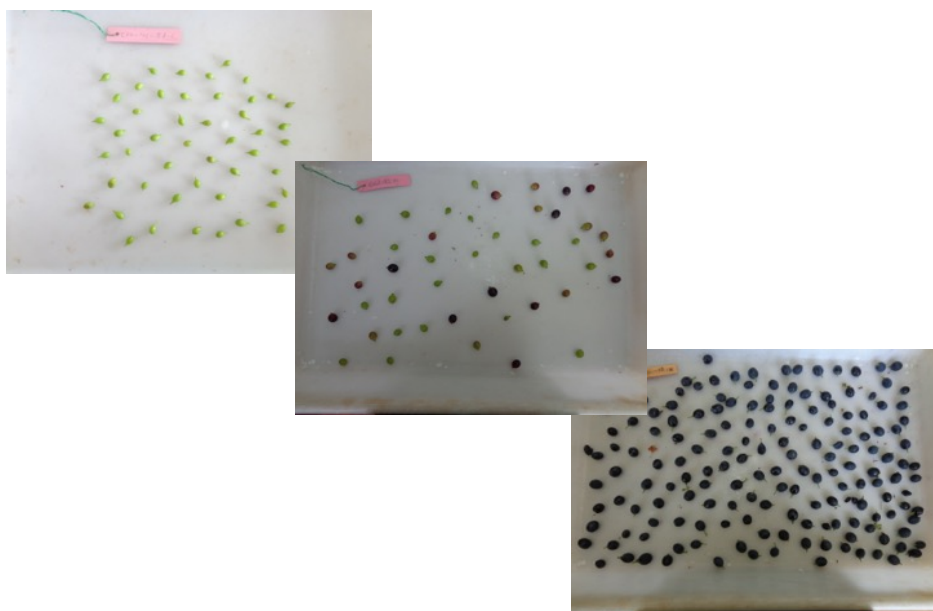


Figura 19 - Sequência de imagens recolhidas para o modelo de crescimento do bago nas três fases distintas Fonte: Autor.

3.5.6. Intensidade e severidade de escaldão

Como já referido, durante a primeira semana de agosto de 2018 ocorreu uma onda de calor (vários dias com temperaturas acima dos 35° graus centígrados). Esse fenómeno fez com que uma grande parte dos cachos em estudo fossem afetados, ficando desidratados parcial ou totalmente. Para ter uma melhor perceção dos estragos causados pelo escaldão, recorreu-se aos estudos dos cachos desidratados. Os cachos que se encontravam totalmente desidratados foram analisados a nível da área do cacho desidratado e também do peso final

do cacho desidratado. Aos cachos com bagos parcialmente desidratados foram separados os bagos desidratados e os bagos sãos. De seguida foram retiradas imagens dos bagos sãos e desidratados e também se recolheu o seu peso respetivamente. Com este estudo procurou-se estimar a percentagem de escaldão evidenciada na vinha e também recolher informação para minimizar os erros criados pelo escaldão parcial e ou mesmo total nos cachos em estudo.

Na figura 20 encontram-se exemplos de imagens que retratam diferentes níveis de escaldão criados pela onda de calor ocorrida durante a primeira semana de agosto e na figura 21 exemplos de cachos afetados.



Figura 20 - Exemplos de cachos com diferentes severidades de escaldão. Fonte: Autor



Figura 21 - Imagens capturadas em dois estados de desenvolvimento onde se pode observar o efeito do escaldão nas vinhas. Fonte: Autor

4. Resultados e Discussão

4.1. Caracterização das componentes do rendimento observadas

Para o estudo do rendimento médio por videira e os componentes de rendimento obtidos à vindima foram analisadas 101 videiras que apresentavam 1779 cachos. A produção das videiras em estudo foi de 99,1 Kg. O rendimento por videira apresentou uma média de 0,847 kg, sendo que a videira que obteve maior produção obteve 2,96 kg e a videira com menor produção obteve 0,060 Kg. O peso médio do cacho foi obtido dividindo o rendimento médio pelo número médio de cachos ambos por videira e não reflete a variabilidade real do peso individual do cacho. É pertinente realçar que os valores sofreram grandes alterações devido ao escaldão que ocorreu, o que fez diminuir a produção de forma significativa.

Tabela 5 - Média do rendimento e das suas componentes medidas à vindima.

#videiras	#cachos	Produção(kg)	peso méd cacho(kg)	peso médio por videira (KG)
101	1779	99,093	0,056	0,847

Tendo em conta os problemas na recolha da informação e a necessidade de verificar a confiança dos dados recolhidos, compararam-se os valores do número de inflorescências e de cachos (em estados fenológicos precoces) com o número de cachos à vindima. O número médio de inflorescências por metro, no estado fenológico cachos separados, variou entre o mínimo de 14 inflorescências no SP2 e SP4 e um máximo de 16 no SP5 e SP6 (Fig. 22). O número médio de inflorescências por SP, quando comparado com o número médio de cachos à vindima apresentou alguma variação.

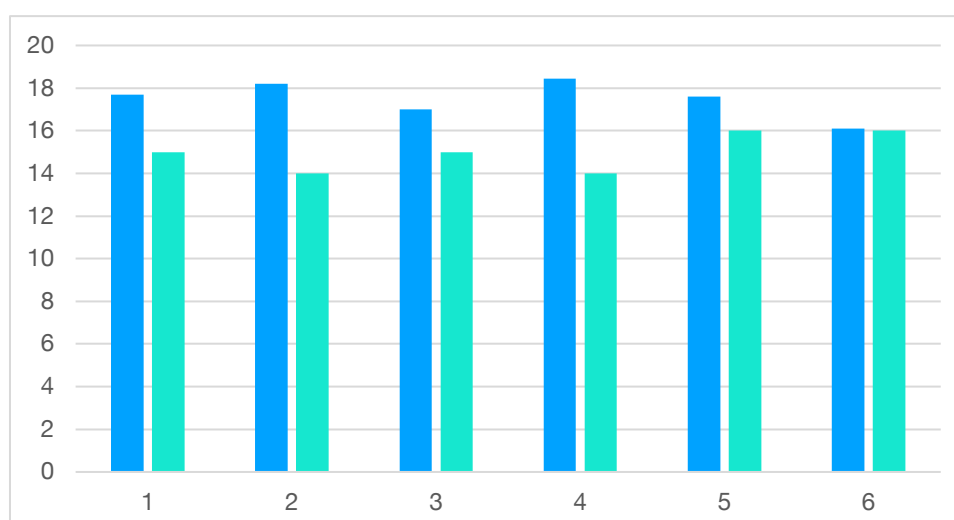


Figura 22 - Número médio de inflorescências por metro no estado fenológico, cachos separados e número médio de cachos à vindima por metro, por SP.

O número médio de cachos ao pintor (Fig. 23) variou entre 16 no SP5 e 18 no SP1. Observou-se também uma pequena variação por SP, no número médio de cachos à vindima.

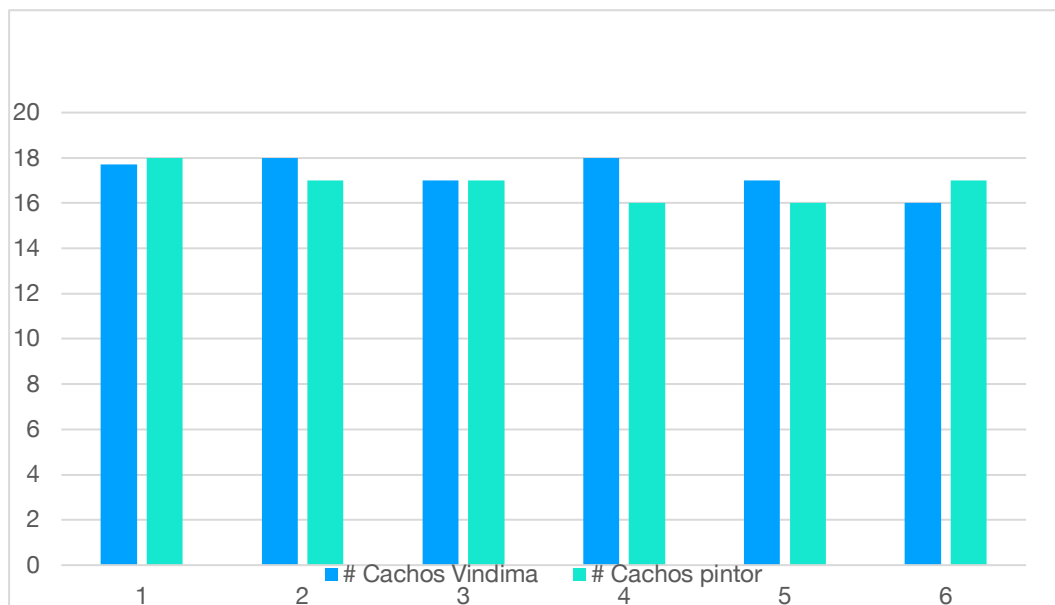


Figura 23 - Número médio de cachos ao pintor, por metro e número médio de cachos à vindima por metro, em cada SP.

Verificou-se em ambos os casos, uma variação entre o número de inflorescências e ou cachos observados e o número de cachos à vindima, todavia não se verificaram diferenças superiores a 2 unidades. Essas diferenças podem ser imputadas a erros na recolha de imagens com o vinbot visto estarmos a falar de estados fenológicos diferentes.

4.2. Correlação entre componentes de rendimento na imagem vs valor real

Na Tabela 6 podemos observar os coeficientes de correlação lineares (r) entre as componentes do rendimento visualizadas nas fotografias capturadas pelo Vinbot e a posterior observação desses mesmos componentes na vinha, nos segmentos correspondentes a cada uma das fotografias. Verificou-se um elevado e positivo r entre o número de talões observados e estimados $r=0,99$ no estado gomo de inverno. A partir deste estado fenológico os coeficientes de correlação encontrados foram sempre menores. Todavia os valores foram semelhantes até a fase bago de chumbo, havendo até um pequeno aumento nesta fase. A partir da fase bago de chumbo os r são mais baixos devido a um progressivo aumento do encobrimento dos cachos, sobretudo pelas folhas. Apesar de os valores de correlação entre componentes de rendimento na imagem e o seu

valor real serem inferiores ao observado nos primeiros dois estados fenológicos existem correlações positivas nos estados fenológicos, cachos visíveis ($r=0,47$), cachos separados ($r=0,47$) e bago de chumbo ($r=0,56$), suficientes para que nestes estados fenológicos seja possível efetuar uma estimativa de rendimento com alguma fiabilidade. Em todos os estados fenológicos (exceto gomo de inverno), a magnitude da oclusão dos componentes rendimento apresentou uma grande variabilidade entre videiras mostrando que essa oclusão difere de videira para videira devido a à variação da densidade da canópia da vinha ao longo da linha. Após a floração, em geral apenas uma fração do número total de cachos era contabilizada devido a oclusão criado pela folhagem principalmente. A magnitude da oclusão do cacho pode ser ainda maior se considerarmos não apenas o número, mas também a fração total dos cachos ocultos (por exemplo ao usar a área projetada dos cachos ou volume dos cachos). Como o número de cachos apresentou uma correlação maior com o rendimento final do que o número de inflorescências, o desenvolvimento do estudo do cacho e do bago na fase bago de chumbo e bago de ervilha pode ajudar a produzir estimativas de rendimento semelhantes ao rendimento final e com alguma precocidade em relação à altura da vindima. Todavia neste trabalho a fase bago de chumbo foi a fase em que se obteve o maior coeficiente de correlação.

Tabela 6 - Coeficiente de correlação de Pearson (r), entre as componentes do rendimento na imagem do Vinbot e respetivos valores observados, nos vários estados fenológicos.

passagem Vinbot	07-03-2018	03-04-2018	20-04-2018	24-04-2018	25-05-2018	11-06-2018	18-06-2018	24-07-2018	23-08-2018
Estado Fenológico (Escala Baggiolini)	A Gomo Inverno (Março)	E Folhas livres (Abril)	F Cachos visíveis (Abril)	G Cachos separados (Abril)	I Floração (Maio)	K Bago chumbo (Junho)	K Bago ervilha (Junho)	M Pintor (Julho-Agosto)	N Maturação (Agosto-Setembro)
Correlação entre componentes de rendimento na imagem vs valor real	$r=0,99$	$r=0,89$	$r=0,47$	$r=0,47$	$r=0,44$	$r=0,56$	$r=0,17$	$r=0,38$	$r=0,10$

4.3. Modelo para a estimativa dos cachos encobertos pela folhagem

A percentagem média de cachos encobertos por folhas variou entre 82% ao bago de ervilha, 78% ao pintor e 73% à maturação. Assim e tendo em conta os valores apresentados, podemos dizer que, sem qualquer alteração ao coberto vegetal (desfolha) apenas são visíveis menos de 30% dos cachos existentes.

Com vista à estimativa da percentagem de cachos expostos efetuou-se uma análise de regressão entre a porosidade da sebe na zona de frutificação (percentagem de espaços vazios – variável independente) e a percentagem de cachos não encobertos por folhas (variável dependente) tendo-se obtido um coeficiente de determinação (R^2) de 0,81 ao bago de ervilha, 0,86 ao pintor e 0,84 à maturação final. Quando se passa de uma regressão linear para polinomial de segundo grau os valores de R^2 aumentaram, ($R^2=0,91$ ao bago de ervilha, $R^2=0,94$ ao pintor e $R^2=0,86$ à maturação final). Os dados obtidos são consistentes nos três estados fenológicos. A percentagem de cachos visível é maior para maiores valores de porosidade, ou seja, quanto menor for a porosidade menor vai ser a fração de cachos visíveis. A percentagem de cachos visíveis aumenta após efetuar a meia desfolha e ainda mais após efetuar a desfolha total. Nas figuras 23, 24 e 25 estão representadas as relações entre a percentagem de cachos visíveis e a porosidade nos estados fenológicos Bago de ervilha, Pintor e Maturação Final respectivamente.

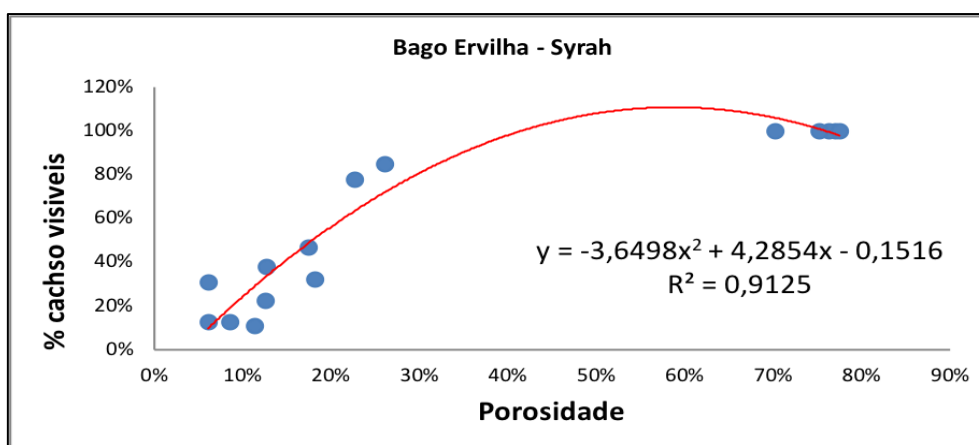


Figura 24 - Relação entre a porosidade sebe (variável independente) e a percentagem de cachos visíveis (variável dependente), com respectiva equação polomial de 2º grau e coeficiente de determinação (R^2), estado fenológico bago de ervilha, n=15.

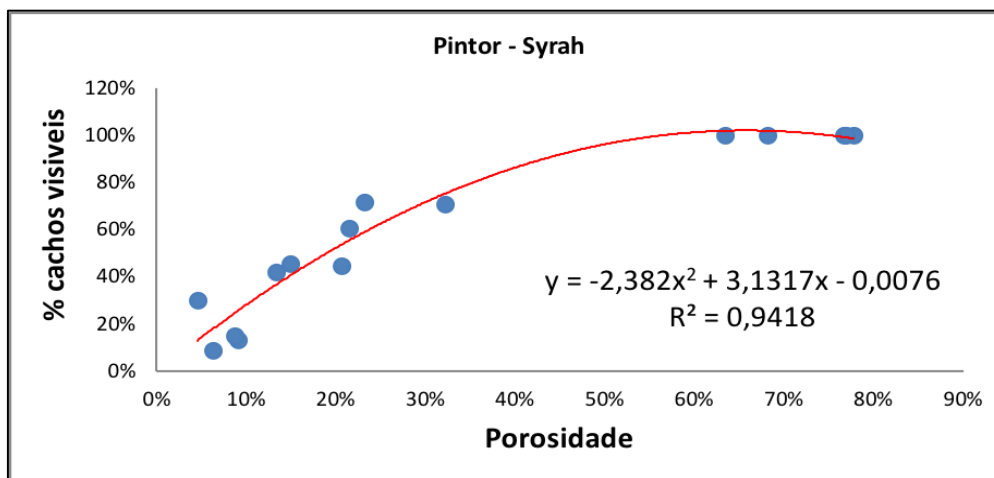


Figura 25 - Relação entre a porosidade sebe (variável independente) e a percentagem de cachos visíveis (variável dependente), com respetiva equação polinomial de 2º grau e coeficiente de determinação (r^2), estado fenológico pintor, $n=15$.

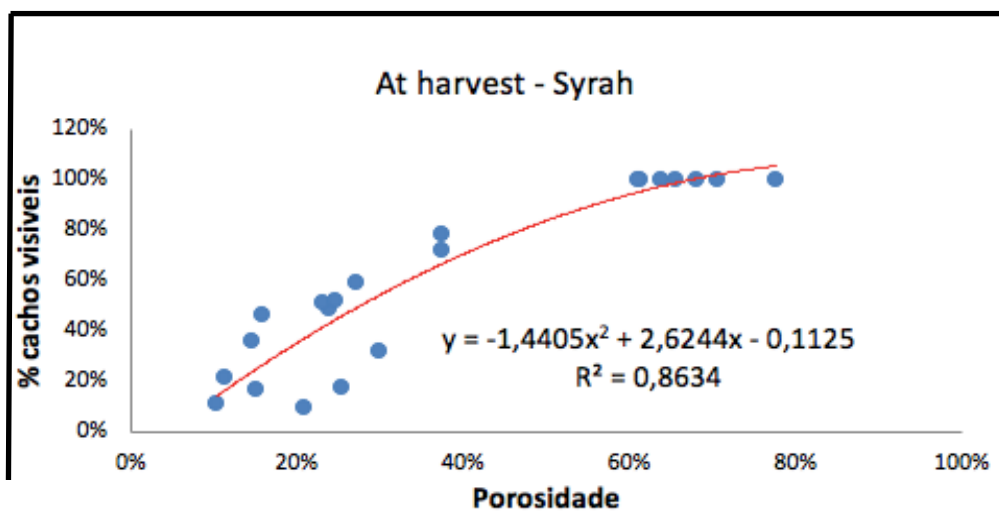


Figura 26 - Relação entre a porosidade sebe (variável independente) e a percentagem de cachos visíveis (variável dependente), com respetiva equação polinomial de 2º grau e coeficiente de determinação (r^2), estado tecnológico maturação, $n=15$.

4.4. Modelo para a estimativa de cachos encobertos por outros cachos

A percentagem média de cachos encobertos por outros cachos variou entre 19% ao bago de ervilha, 12% ao pintor e 9% à maturação final. Somando estes valores aos valores de encobrimento por folhagem, os dados indicam que da totalidade de cachos presentes, apenas se consegue observar cerca de 1% a 18% dos cachos.

A referir algo invulgar, o valor de oclusão de cachos encobertos por outros cachos é superior nos estados bago de ervilha quando os bagos são de menor dimensão. Estes resultados podem ter sido influenciados pelo escaldão, todavia é importante estudar este modelo com maior precisão e mais dados em outros trabalhos com o Vinbot.

Na tabela 8 apresenta-se a percentagem média de cachos encobertos por outros cachos, obtida nos três estados fenológicos indicados.

Tabela 7- Resumo da oclusão (%) média de cachos por outros cachos, por estado fenológico

Casta	Fenologia	Oclusão média
Syrah	Bago Ervilha	19%
Syrah	Pintor	12%
Syrah	Vindima	9%

4.5. Relação entre área projetada do cacho e peso do cacho

A relação entre a área projetada do cacho na imagem (variável independente) e o peso real do cacho (variável dependente), revela um coeficiente de determinação 0,84 no estado fenológico de bago de ervilha (Fig. 25). Ao pintor, a mesma relação apresenta um $R^2=0,84$ (Fig. 26) e à maturação final um $R^2=0,86$ (Fig. 27). Estes resultados mostram que a área projetada, explica uma elevada percentagem da variabilidade do peso do cacho, permitindo considerar esta variável como uma boa variável explanatória em qualquer uma das fases fenológicas em estudo.

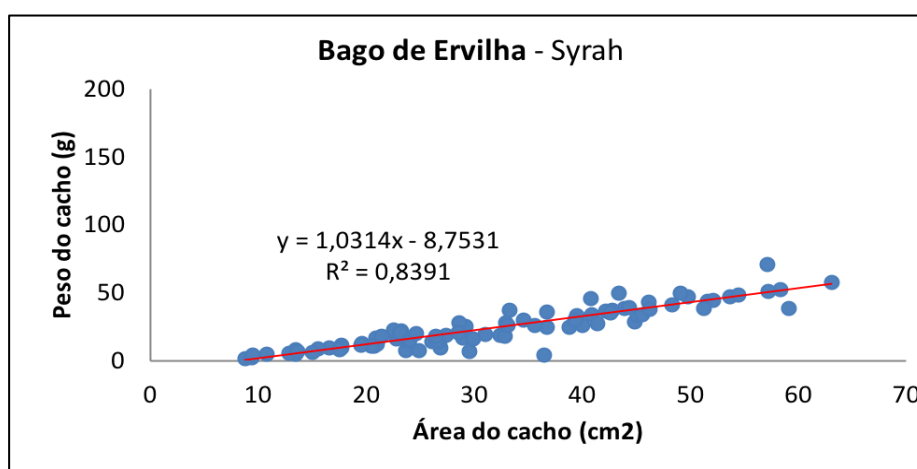


Figura 27 - Relação entre a área projetada do cacho (variável independente) e o peso do cacho (variável dependente), com respetiva equação de regressão e coeficiente de determinação (r^2), estado fenológico, bago de ervilha, $n=85$.

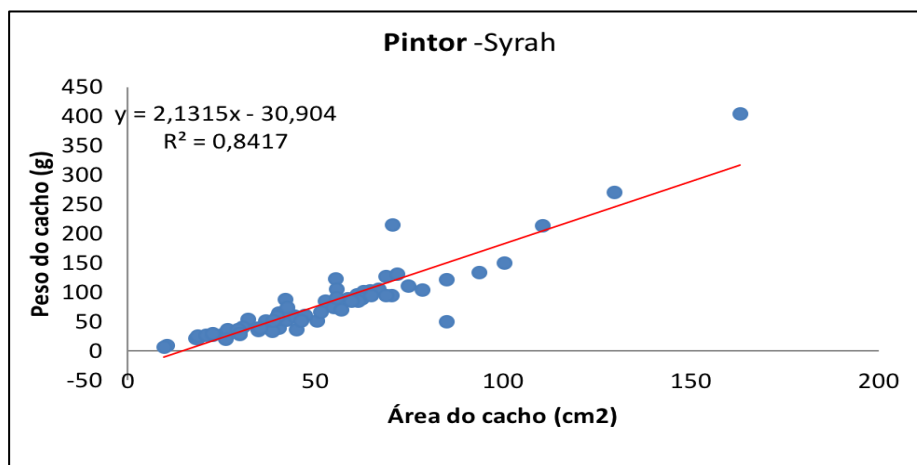


Figura 28 - Relação entre a área projetada do cacho (variável independente) e o peso do cacho (variável dependente), com respetiva equação de regressão e coeficiente de determinação (r^2), estado fenológico, pintor, $n=70$.

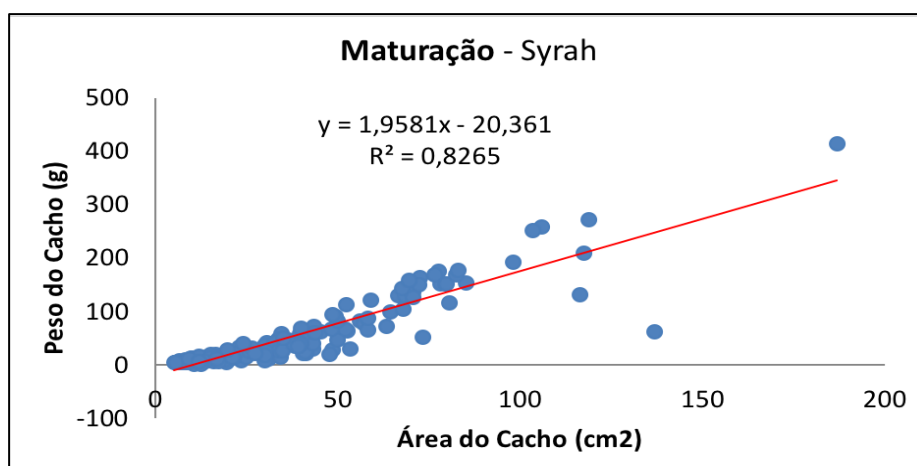


Figura 29 - Relação entre a área projetada do cacho (variável independente) e o peso do cacho (variável dependente), com respetiva equação de regressão e coeficiente de determinação (r^2), estado fenológico, maturação, $n=144$.

4.6. Factor de crescimento do bago

Na fase fenológica bago de ervilha a área média projetada do bago foi de 0,47 cm², ao pintor foi de 1,44 cm² e à maturação final 1,48 cm², (Tab. 8). Para além da área média do bago foram também analisadas as variáveis, área média do cacho e peso médio do cacho de forma a aumentar o conhecimento sobre diferentes especificidades do bago para assim aumentar o conhecimento sobre o crescimento do bago.

Tabela 8 - Área média do bago e do cacho, peso médio do cacho (média), o fator de crescimento da área do bago, da área do cacho e do peso do cacho, nos três estados fenológicos indicados.

Estado fenológico	Área média do bago (cm ²)	Factor de crescimento área média do bago	Área média do cacho (cm ²)	Factor de crescimento área média do cacho	Peso médio do bago (g)	Factor de crescimento peso médio do bago	Peso médio do cacho (g)	Factor de crescimento peso médio do cacho
Bago de ervilha	0,478	3,087	32,581	1,159	0,326	3,416	24,499	2,168
Pintor	1,444	1,022	50,293	0,751	1,372	0,812	81,777	0,650
Maturação final	1,476	-	37,758	-	1,114	-	53,120	-

O fator de crescimento da área média do bago foi de 3,09 desde o bago de ervilha até a maturação e de 1,02 desde o pintor até a maturação. O crescimento da área do bago do pintor à maturação foi relativamente pequeno.

Acresce ainda que a onda de calor sentida na primeira semana de agosto de 2018 provocou um escaldão e desidratação de alguns bagos e inclusive de bagos inteiros em todos os SP. Na figura 28. apresentam-se as áreas médias dos cachos e bagos e também, o peso médio do cacho e do bago, nos três estados fenológicos indicados.

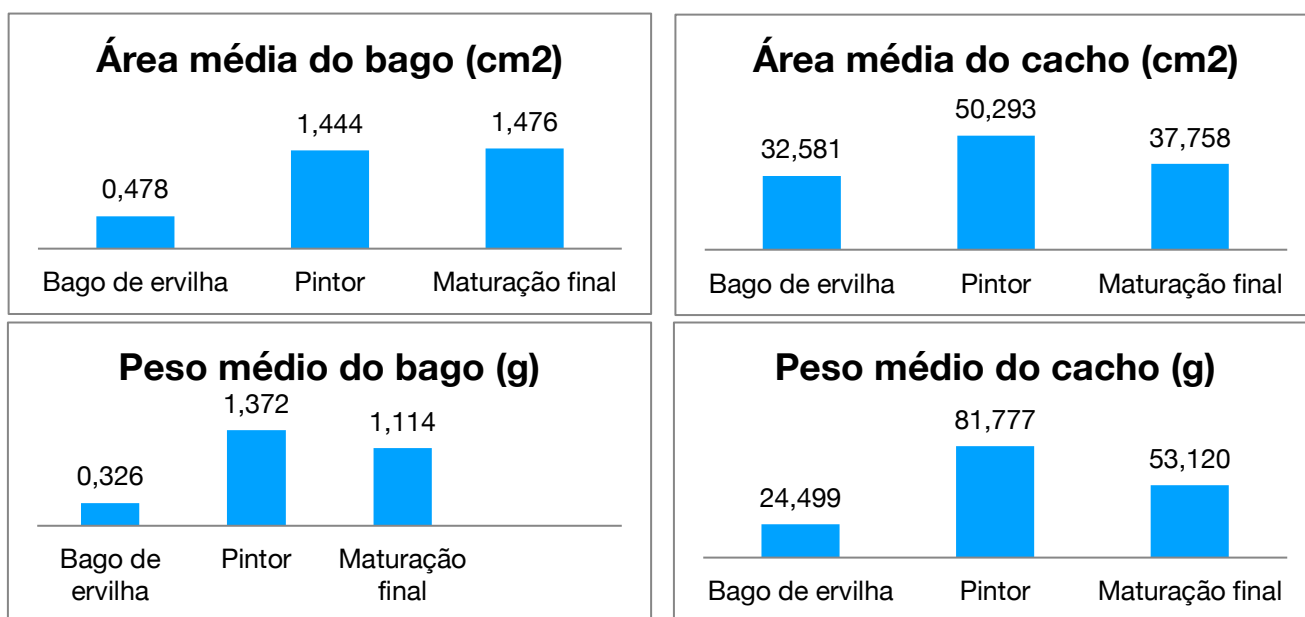


Figura 30 - Aspectos em estudo para o crescimento do bago nos três estados fenológicos.

No que respeita ao peso do cacho, o fator de crescimento desde o bago ervilha até a maturação foi de 3,41 e de 0,81 do pintor até a maturação. O fator de crescimento do peso do cacho tem valores semelhantes ao fator de crescimento da área do bago. Já para a área média do cacho, os fatores de crescimento são de 2,17 do bago ervilha até a maturação e de 0,65 do pintor até a maturação.

Em suma os valores encontram-se dentro do expectável, um aumento significativo dos valores da fase bago de ervilha para a fase pintor e uma diminuição dos valores entre as fases

pintor e maturação final, pela ocorrência do escaldão na primeira semana de agosto. Todavia um dos valores em estudo, área média do bago, não sofreu qualquer diminuição entre as últimas duas fases, que pode ser respondido pela pequena variação da plasticidade da película da uva durante o fim de ciclo de desenvolvimento do bago. Porém para melhor compreender a plasticidade da película da uva durante as últimas fases de desenvolvimento deve-se recorrer, em trabalhos futuros, à avaliação da textura da mesma para assim ter uma melhor percepção da mesma.

4.7. Estimativa média do escaldão dos bagos

A estimativa média do escaldão dos bagos foi baseada na severidade do escaldão e na intensidade do escaldão.

Quanto à severidade verificou-se um escaldão médio de 61% dos cachos. Na figura 31 está representado o grau de severidade média de escaldão das uvas tendo em conta o número de cachos com escaldão e o seu grau de escaldão.

Na figura 32 está representado a intensidade do escaldão por metro nos sete metros em estudo.

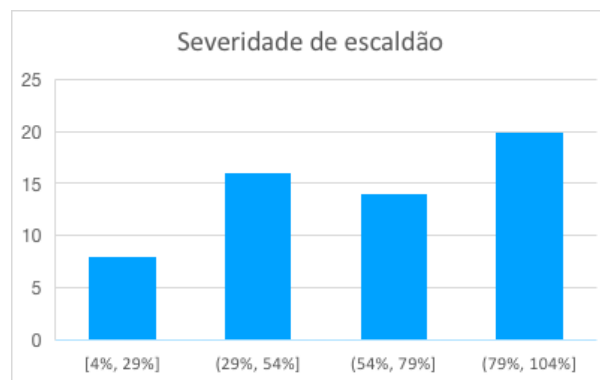


Figura 31 - Histograma de severidade de escaldão.

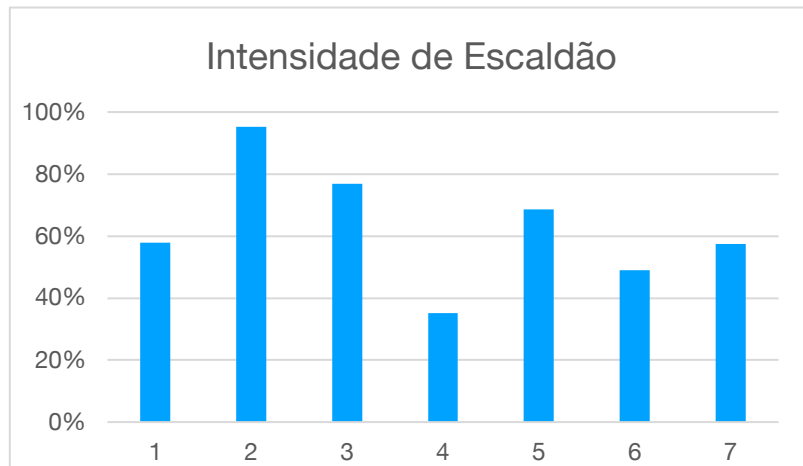


Figura 32 - Percentagem de intensidade de escaldão por metro linear (eixo horizontal representa cada SP).

Como se pode observar nas figuras 31 e 32 o fenómeno natural de escaldão que ocorreu durante a primeira semana de agosto fez com que um grande número de cachos fosse afetado provocando algumas alterações nos valores finais de rendimento. Todavia a ocorrência do escaldão também fornece informações e dados importantes pois este fenómeno natural pode ocorrer em qualquer ano e assim se voltar a acontecer já existe informação pertinente para comparar diferentes anos e assim ter uma melhor perspetiva do real peso do escaldão para a estimativa de rendimento.

4.8. Estimativa do Rendimento

Na tabela 9 indica-se o rendimento observado à vindima e o estimado, em quilogramas por metro linear, para cada SP, para cada um dos três estados fenológicos estudados (bago de ervilha, pintor e maturação). Para uma previsão de rendimento em estados fenológicos anteriores ao bago de ervilha, seriam necessários dados históricos. Este tipo de previsão não foi explorado neste trabalho.

No modelo para a estimativa dos cachos encobertos por outros cachos, foram utilizados valores médios de percentagem de encobrimento cacho por cacho, para cada estado fenológico. Estes valores não foram calculados para cada fotografia, por ser um procedimento extremamente laborioso quando feito manualmente. A esta simplificação está associado um erro significativo na estimativa de rendimento, pois a variabilidade deste parâmetro para cada imagem é elevada. No futuro poder-se-á utilizar o valor de percentagem de encobrimento cacho por cacho por imagem, pois este parâmetro poderá ser calculado automaticamente pelo Vinbot.

Para efetuar a estimativa foram utilizadas as equações de regressão indicadas nos modelos descritos nos capítulos anteriores (capítulos 4.3, 4.4, 4.5 e 4.6). Para a estimativa de

cachos encobertos por outros cachos foi usado um valor médio de 19% ao bago de ervilha, 12% ao pintor e 9% à maturação final e os fatores de crescimento do peso do cacho utilizados foi 2,2 ao bago de ervilha e 1 ao pintor.

Em resumo apresenta-se o fluxograma utilizado para o cálculo da estimativa do rendimento, para cada estado fenológico.



Na tabela 9 indicamos o peso estimado final obtido através do desenvolvimento dos modelos acima descritos e o peso real à vindima, em quilogramas, por metro, que foram obtidos pela soma do peso dos cachos (por metro) colhidos na vindima.

Tabela 9 - Tabela com os valores do rendimento médio em Kg/m linear, real e estimado em cada um dos três estados fenológicos indicados e os respectivos erros absoluto médio (EPM)

Estado	Peso Estimado final Kg/m	Peso real Kg/m	Erro Kg/m
Bago ervilha	5,3	3,3	1,9
Pintor	3,4	3,3	0,1
Maturação	2,1	3,3	-1,2

Verifica-se que ocorreu uma sobrestimação na fase bago de ervilha seguindo os modelos desenvolvidos. Na fase pintor ocorreu apenas uma ligeira sobrestimação na fase maturação final ocorreu uma subestimação do peso estimado final.

Tendo em conta os valores apresentados podemos afirmar que apesar de ocorrer diferenças nos valores apresentados o peso estimado final na fase pintor apresenta uma ótima estimativa do peso real à vindima.

5. Conclusões

A análise das componentes do rendimento obtidas via análise de imagem mostra que, a partir do vingamento, existe uma correlação elevada entre o número de cachos observados na imagem e no campo. Os resultados indicam que, no caso de utilizar o número de cachos como variável explanatória, o estado fenológico mais interessante para estimar o rendimento são o bago de chumbo por ser o mais precoce e apresentar a melhor correlação entre o valor real do número de cachos e o número de cachos captados através da camera do vinbot.

Relativamente à visibilidade dos cachos, quando a sebe não é desfolhada verifica-se que 73% a 82% dos cachos estão encobertos por folhas dependendo do estado fenológico. A esse valor deve ser acrescentada mais 9% a 19% de encobrimento de cachos por outros cachos dependendo novamente do estado fenológico em estudo.

A análise de regressão entre a porosidade da sebe e a área de cachos expostos apresentou também coeficientes de determinação elevados para os três estados fenológicos estudados ($R^2 \geq 0,86$), o que permite considerar a utilização da porosidade da sebe como variável explanatória para a estimativa da fração dos cachos não visíveis.

A análise de regressão entre a área projetada de cacho e o peso do cacho apresentou coeficientes de determinação elevados para os três estados fenológicos estudados verificando-se que a eficácia em estimar o peso do cacho a partir da sua área projetada é elevada nos três estados fenológicos, bago de ervilha ($R^2=0,84$), ao pintor ($R^2=0,84$) e à maturação final ($R^2=0,83$).

A estimativa do rendimento em estados fenológicos precoces, exige o conhecimento do fator de crescimento do bago/cacho até à maturação. No nosso ensaio obteve-se um fator de crescimento do peso do cacho de 2,2 no período bago de ervilha-maturação e de 1,4 no período pintor-maturação. O peso do bago obteve um fator de crescimento de 3,41 no período bago de ervilha-maturação e de 0,812 no período pintor-maturação.

Ao longo deste trabalho foram testadas diversas metodologias de recolha de imagem. Sugerem-se algumas alterações para estudos futuros, destacando-se a introdução de uma escala fixa na vinha e a estabilização da distância do robô às videiras.

Os resultados finais resultantes dos modelos desenvolvidos neste trabalho permitiram obter várias estimativas da produção à vindima com um erro variável com a fase em que é feita a estimativa. Na fase bago de ervilha e pintor a produção foi sobrestimada, já na fase maturação final a produção foi subestimada. Em qualquer dos casos, a exceção do estado fenológico pintor onde o erro absoluto médio (EPM), é igual a 0,1 trata-se de um erro elevado sendo na fase bago de ervilha o EPM igual a 1,9 e na fase maturação final igual a -1,2. Estes erros poderam estar associados, principalmente, à falta de automatização da estimativa dos cachos encobertos por outros cachos, também derivado ao escaldão que afetou sensivelmente 61% dos cachos em estudo e também ao facto de todas estas medições terem sido feitas a partir da análise de imagem sem ter havido a possibilidade de utilização de todas as potencialidades que o Vinbot apresenta como por exemplo o uso de outros sensores já acoplados ao vinbot como é o caso dos sensores LIDAR.

De referir também os problemas durante a recolha das imagens com o Vinbot, como a fita métrica não estar fixa à videira dificultando a visão da mesma e a distância entre o robot e a linha de videiras não ser sempre a mesma. A estes problemas associa-se o fenómeno de escaldão que ocorreu, danificando 61% dos cachos em estudo.

Todavia de referir que a fase pintor apresentou valores bastante interessantes a explorar em trabalhos futuros.

Uma vez que os objetivos do trabalho eram estimar a produção à vindima e prever a produção em estados precoces, com recurso à análise das imagens recolhidas pelo robô Vinbot, o seu principal contributo não se prende com a estimativa de rendimento em si, mas sim com a construção dos modelos associados a esta estimativa e com o teste e otimização de metodologias de recolha e tratamento de imagem.

Dos vários desafios que a estimativa de rendimento através de análise de imagem apresenta, destacam-se o encobrimento de cachos por folhagem e ou por outros cachos. O aumento da amostragem dos modelos sugeridos neste trabalho, nomeadamente englobando mais anos vitícolas de modo a contemplar a variabilidade temporal, é crucial para a otimização deste modo alternativo de estimar o rendimento.

Bibliografia

Andrew Hall & Mark A. Wilson (2013) Object-based analysis of grapevine canopy relationships with winegrape composition and yield in two contrasting vineyards using multitemporal high spatial resolution optical remote sensing, *International Journal of Remote Sensing*, 34:5, 1772-1797, DOI: 10.1080/01431161.2012.726753;

Azevedo, F. A. S. (2018). Paralelização de Algoritmos de Processamento de Imagem em Contexto de Vinha;

Blom, P. E., & Tarara, J. M. (2009). Trellis tension monitoring improves yield estimation in vineyards. *HortScience*, 44 (3), 678-685 ;

Braga, R. (2009a). Viticultura de Precisão. *Associação dos Jovens Agricultores de Portugal*, 150, 2-17;

Braga, R. (2009b). Inovação e Tecnologia na Formação Agrícola. Manual de Viticultura de Precisão. Lisboa, *Associação dos Jovens Agricultores de Portugal*;150, 2-17;

Bramley, R. G. V., & Hamilton, R. P. (2004). Understanding variability in winegrape production systems: 1. Within vineyard variation in yield over several vintages. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, 10(1), 32-45;

Bramley, R. G. V. (2005). Understanding variability in winegrape production systems 2. Within vineyard variation in quality over several vintages. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, 11(1), 33-42;

Bramley, R. G., & Hamilton, R. P. (2007). Terroir and precision viticulture: are they compatible? *OENO One*, 41 (1), 1-8;

Bramley, R. G. V. (2010). Precision Viticulture: Managing vineyard variability for improved quality outcomes. In *Managing Wine Quality: Viticulture and Wine Quality* (pp. 445-480);

Cardoso, J.V.J.C. (1965). Os solos de Portugal: sua classificação, caracterização e génese. Secretaria de Estado de Estado da Agricultura. Direcção-Geral dos Serviços Agrícolas;

Clingeffer, P. R., & Krstic, M. (2001). Crop Development, Crop Estimation and Crop Control to Secure Quality and Production of Major Wine Grape Varieties: A National Approach: Final Report to Grape and Wine Research & Development Corporation. Grape and Wine Research & Development Corporation;

Cook, S. E., & Bramley, R. G. V. (1998). Precision agriculture—opportunities, benefits and pitfalls of site-specific crop management in Australia. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, 38 (7), 753-763;

Cubero, S., Diago, M. P., Blasco, J., Tardaguila, J., Millan, B., & Aleixos, N. (2014). A new method for pedicel/peduncle detection and size assessment of grapevine berries and other fruits by image analysis. *Biosystems Engineering*, 117, 62-72;

Cunha, M., Costa, P., Abreu, I., Pinto, P., & Castro, R. (1999). Estimativa Precoce da Produção de Vinho pelo Método Aeropolinico. *Ciência e Técnica Vitivinícola*, 14 (2), 45-54;

Diago, M. P., Correa, C., Millán, B., Barreiro, P., Valero, C., & Tardaguila, J. (2012). Grapevine yield and leaf area estimation using supervised classification methodology on RGB images taken under field conditions. *Sensors*, 12(12), 16988-17006;

Diago, M.P., Sanz-Garcia, A., Millán, B., Blasco, J. e Tardaguila, J. (2013). Assessment of flower number per inflorescence in grapevine by image analysis under field conditions. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. doi: 10.1002/jsfa.6512;

Dunn, G. M. (2010). Yield forecasting. Fact Sheet. University of Melbourne, Australia;

Dunn, G. M., & Martin, S. R. (2004). Yield prediction from digital image analysis: A technique with potential for vineyard assessments prior to harvest. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, 10(3), 196-198;

Ganesan, P., & Sajiv, G. (2017). A comprehensive study of edge detection for image processing applications. In *Innovations in Information, Embedded and Communication Systems (ICIIECS), 2017 International Conference on* (pp. 1-6). IEEE;

Gommes, R. (1998). Agrometeorological crop yield forecasting methods. *International Conference of Agricultural Statistics*, 11;

Hall, A., Lamb, D. W., Holzapfel, B., & Louis, J. (2002). Optical remote sensing applications in viticulture-a review. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, 8(1), 36-47;

Lachat, E., Macher, H., Landes, T., & Grussenmeyer, P. (2015). Assessment and calibration of a RGB-D camera (kinect v2 sensor) towards a potential use for close-range 3D modeling. *Remote Sensing*, 7(10), 13070-13097;

Lamb, D., Hall, A., & Louis, J. (2001). Airborne remote sensing of vines for canopy variability and productivity. *Australian Grapegrower and Winemaker*, nº89-94;

Liu, S., Marden, S., & Whitty, M. (2013). Towards automated yield estimation in viticulture. In *Proceedings of the Australasian Conference on Robotics and Automation*, Sydney, Australia (Vol. 24);

Liu, S., Whitty, M., & Cossell, S. (2015, May). Automatic grape bunch detection in vineyards for precise yield estimation. In *Machine Vision Applications (MVA), 2015 14th IAPR International Conference on* (pp. 238-241). IEEE;

Lopes, C., & Pinto, P. A. (2005). Easy and accurate estimation of grapevine leaf area with simple mathematical models. *Vitis*, 44(2), 55-61;

Lopes, A.J.O. (2009). Previsão quantitativa de vindimas. Dissertação de Mestrado, Instituto Superior de Agronomia – Universidade de Lisboa;

Lopes, C. M., Graça, J., Sastre, J., Reyes, M., Guzmán, R., Braga, R., ... & Pinto, P. A. (2016). Vineyard yield estimation by VINBOT robot-preliminary results with the white variety Viosinho. In *Proceedings 11th Int. Terroir Congress*. Jones, G. and Doran, N.(eds.), pp. 458-463. Southern Oregon University, Ashland, USA. Jones, G.; Doran, N.(eds.);

Lorenz, D.H., Eichhorn, K.W., Bleiholder, H., Klose, R., Meier, U. e Weber, E. (1995). Growth Stages of the Grapevine: Phenological growth stages of the grapevine (*Vitis vinifera* L. ssp. *vinifera*)—Codes and descriptions according to the extended BBCH scale. *Australian Journal of Grape and Wine Research* 1, 100–103;

Magalhães, N. (2015). *Tratado de Viticultura – A Videira, a Vinha e o Terroir*, 2.^a Edição, Esfera Poética;

Marques, F.M.N.L.S. (2017) - Avaliação e comparação de duas estratégias de rega deficitária na vinha velha da Herdade da Comenda Grande. Lisboa: ISA, 105;

Matese, A., & Di Gennaro, S. F. (2015). Technology in precision viticulture: A state of the art review. *Int. J. Wine Res*, 7, 69-81;

MacMillan, I. e Fisher, K. (2005). Yield estimation – can we do it better? The Tinlins McLaren Vale Shiraz experience. *The Australian & New Zealand Grape grower & Winemaker*, 500, 26-28;

Mendes, J., Santos, F., Castelão, I., Ramalho, T., Duarte, C., Almeida, F., e Carlos, C., ROMOVI, robô modular e cooperativo para vinha de encosta, *AGROTEC* 26, 19-21;

Navalgund, R. R., Jayaraman, V., & Roy, P. S. (2007). Remote sensing applications: An overview. *Current Science (00113891)*, 93(12);

Nuske, S., Achar, S., Bates, T., Narasimhan, S., & Singh, S. (2011a). Yield estimation in vineyards by visual grape detection. In *Intelligent Robots and Systems (IROS), 2011 IEEE/RSJ International Conference on* (pp. 2352-2358). IEEE;

Nuske, S., Achar, S., Gupta, K., Narasimhan, S. e Singh, S. (2011b). *Visual Yield Estimation in Vineyards: Experiments with Different Varietals and Calibration Procedures*. Robotics Institute, Carnegie Mellon University, Pittsburgh, Pennsylvania;

Sarmento, A. M. (1969). *Elementos para a Elaboração do Plano de Trabalho na Exploração Agrícola da Tapada da Ajuda. Relatório Final do Curso de Engenheiro Agrónomo*, Instituto Superior de Agronomia – Universidade Técnica de Lisboa (actual Universidade de Lisboa);

Schultz, H. R., & Stoll, M. (2010). Some critical issues in environmental physiology of grapevines: future challenges and current limitations. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, 16(s1), 4-24;

Smit, J. L., Sithole, G., & Strever, A. E. (2016). Vine signal extraction—an application of remote sensing in precision viticulture. *South African Journal of Enology and Viticulture*, 31 (2), 65-74;

Tarara, J.M., J.C. Ferguson, P.E. Blom, M. Pitts, and F.J. Pierce. (2004). Estimation of grapevine crop mass and yield via automated measurements of trellis tension. *Trans. ASAE* 47:647–657;

Anexos

Anexo A – Programa ImageJ – Algoritmo de análise de imagem

1. Todas as imagens capturadas pelas câmaras RGB-D, Kinect v2 do robô Vinbot e Nikon D5200 foram analisadas manualmente pelo programa ImageJ. Foi utilizada versão 1.52e do ImageJ, que é um software de utilização livre, desenvolvido pelo National Institutes of Health dos Estados Unidos da América, com atualizações frequentes e que pode apresentar, editar, analisar, processar, gravar e imprimir imagens de 8 bits, 16 bits e 32 bits. Executa o processamento padrão de imagens, nomeadamente a manipulação do contraste, da nitidez e a deteção dos contornos. Pode calcular áreas, medir distâncias e ângulos, assim como produzir histogramas de densidade e gráficos lineares.

2. Para a determinação da área do cacho e número de cachos, na análise dos componentes de rendimento, foram efetuados os seguintes passos no ImageJ: 1 - abrir o programa ImageJ; 2 - no menu “File” seleccionar “open” para abrir a imagem pretendida; 3 - seleccionar o menu “Analyze” e de seguida “Set Scale...” abre uma janela onde se coloca no “known Distance:” o valor correto do comprimento da recta traçada sobre a escala da foto e colocar as unidades em “cm”; 4 – Carregar no “Polygon selections” do menu e seleccionar a área dos cachos; 5 – no menu seleccionar “Analyze” e “Measure”. Abre uma janela “results” com indicação da área de todos os cachos seleccionados em centímetros quadrados. Os cachos na imagem foram contados visualmente.

3. Para a determinação da área de cada cacho, no modelo área projetada de cacho versus peso do cacho, foram efetuados os seguintes passos no ImageJ: 1 - abrir o programa ImageJ; 2 - no menu “File” seleccionar “open” para abrir a imagem pretendida; 3 - seleccionar o menu “Analyze” e de seguida “Set Scale...” abre uma janela onde se coloca no “known Distance:” o valor correto do comprimento da recta traçada sobre a escala da foto e colocar as unidades em “cm”; 4 – Carregar no retângulo do menu e seleccionar a área do cacho; 5 - Seleccionar no Menu “Image” a opção “Crop” e de seguida a opção “Adjust” e “Color Threshold ...”. Abre painel “Threshold color” onde no “color space” se selecciona “RGB” e as cores Red, Blue e Green 0 e 255. A imagem fica toda encarnada, ajustar na cor azul de forma a aparecer o cacho encarnado, seleccionar “select” para aparecer o cacho de cor verde e com uma linha amarela a delimitá-lo; 6 – No menu seleccionar “Analyze” e “Measure”. Abre uma janela “results” com indicação da área em centímetros quadrados.

4. Para a determinação da porosidade e a oclusão dos cachos por folhas e cachos por cachos, nos modelos de oclusão cachos por folhas e oclusão dos cachos por cachos, foram efetuados os seguintes passos no ImageJ: 1 - abrir o programa ImageJ; 2 - no menu “File” seleccionar

“open” para abrir a imagem pretendida; 3 - selecionar o menu “Analyze” e de seguida “Set Scale...” abre uma janela onde se coloca no “known Distance:” o valor correto do comprimento da recta traçada sobre a escala da foto e colocar as unidades em “cm”; 4 – Carregar no retângulo do menu e selecionar a área dos cachos (frutificação) da imagem; 5 – Selecionar no Menu “Image” a opção “Crop” 6 – No menu selecionar “Analyze” e “Measure”. Abre uma janela “results” com indicação da área total em centímetros quadrados; 7 – Selecionar no Menu “Image” a opção “Adjust” e “Color Threshold ...”. Abre painel “Threshold color” onde no “color space” se seleciona “RGB” e as cores Red, Blue e Green 0 e 255. A imagem fica toda encarnada, ajustar na cor azul de forma a aparecerem as folhas encarnadas, selecionar “select” para aparecerem as folhas de cor verde e com uma linha amarela a delimitá-las; 8 – No menu selecionar “Analyze” e “Measure”. Abre uma janela “results” com indicação da área das folhas em centímetros quadrados.

5. Para a determinação da área do bago e número de bagos por cacho, no modelo crescimento do bago, foram efetuados os seguintes passos no ImageJ: 1 - abrir o programa ImageJ; 2 - no menu “File” seleccionar “open” para abrir a imagem pretendida; 3 - selecionar o menu “Analyze” e de seguida “Set Scale...” abre uma janela onde se coloca no “known Distance:” o valor correto do comprimento da recta traçada sobre a escala da foto e colocar as unidades em “cm”; 4 – Carregar no retângulo do menu e selecionar a área dos bagos; 5 - Selecionar no Menu “Image” a opção “Crop” e de seguida a opção “Adjust” e “Color Threshold ...”. Abre painel “Threshold color” onde no “color space” se seleciona “RGB” e as cores Red, Blue e Green 0 e 255. A imagem fica toda encarnada, ajustar na cor azul de forma a aparecerem os bagos encarnados, selecionar “select” para aparecerem os bagos de cor verde e com uma linha amarela a delimitá-los; 6 – no menu selecionar “Analyze Particles”. Abre uma janela “Analyze Particles” que é necessário indicar na célula Size(cm²): um valor ajustado à área dos bagos e diferente de 0 (e.g 0.1-Infinity), na célula Show: selecionar (Count Maskes) e OK . Abre uma janela “results” com indicação da área em centímetros quadrados de cada bago, uma janela “summary” com indicação do número de bagos e uma “imagem ROI” com todos os bagos numerados. O Diâmetro de cada bago e o diâmetro médio foram calculados utilizando a formula da área do circulo e considerando que os bagos eram circulares.

Anexo B – Metodologia de recolha de imagens capturadas com câmara fotográfica Nikon D5200

Metodologia

Pontos a ter em conta:

- Para a captura de imagens foi utilizado uma câmara fotográfica, um tripé, um separador azul, de forma a isolar o talão na imagem, e uma fita cor de rosa para marcar o talão.
- As distâncias da câmara ao talão e da altura do tripé não são exatas sendo que se alteram consoante o talão em questão e também têm de ser ajustados consoante fatores externos como é o caso da luminosidade do dia e a orografia do terreno.
- Porém o tripé deve ser colocado com a sua perna da frente por baixo do talão e em simetria com o talão.
- Ter em atenção a três propriedades de imagem como a abertura da câmara, a sensibilidade e o tempo de disparo.
- Nas imagens referentes ao gomo de inverno a propriedade que foi alterada ao longo das fotos foi o tempo de disparo da câmara, onde foram utilizados 1/400s, 1/250s, 1/200s, 1/160s.
- Os zooms`s utilizados, são os menores possíveis (entre 18x e 24x)
- As capturas de imagem a partir da semana de 26 a 30 de março devem ser efetuadas pelo menos uma vez cada semana de forma a conseguir obter imagens de todos os estados fenológicos possíveis.
- As contagens das videiras e dos talões escolhidos foi feita no sentido norte para sul contando continuamente do início da cabeceira até à videira escolhida.

Anexo C- Coeficiente de correlação de Pearson (r), entre as componentes do rendimento na imagem Vinbot e respectivos valores observados, nos vários estados fenológicos.

passagem Vinbot	07-03-2018	03-04-2018	20-04-2018	24-04-2018	25-05-2018	11-06-2018	18-06-2018	24-07-2018	23-08-2018
Estado Fenológico (Escala Baggiolini)	A Gomo Inverno (Março)	E Folhas livres (Abril)	F Cachos visíveis (Abril)	G Cachos separados (Abril)	I Floração (Maio)	K Bago chumbo (Junho)	K Bago ervilha (Junho)	M Pintor (Julho-Agosto)	N Maturação (Agosto-Setembro)
Coefficientes de determinação Componentes do rendimento observados	r=0,99	r=0,89	r=0,47	r=0,47	r=0,44	r=0,56	r=0,17	r=0,38	r=0,10

Anexo D-Escala de BBCH adaptada à vinha.

Fonte:(Lorenz et al. 1995).

BBCH-Code	Description	BBCH-Code	Description
Principal growth stage 0	Sprouting	61	Beginning of flowering: 10% of flowerhoods fallen
00	Dormancy: winter buds pointed to rounded, bright or dark brown according to cultivar, bud scales more or less closed according to cultivar	63	Early flowering: 30% of flowerhoods fallen
01	Beginning of bud swelling: buds begin to expand inside the bud scales	65	Full flowering: 50% of flowerhoods fallen
03	End of bud swelling: buds swollen, but not green	68	80% of flowerhoods fallen
05	"Wool stage": brown wool clearly visible	69	End of flowering
07	Beginning of bud burst: green shoot tips just visible	Principal growth stage 7	Development of fruits
09	Bud burst: green shoot tips clearly visible	71	Fruit set: fruits begin to swell, remains of flowers lost
Principal growth stage 1	Leaf development	73	Berries great-sized, bunches begin to hang
11	First leaf unfolded and spread away from shoot	75	Berries pea-sized, bunches hang
12	Two leaves unfolded	77	Begin of berry touch
13	Three leaves unfolded	79	Berry touch complete
14	Four leaves unfolded	Principal growth stage 8	Ripening of berries
15	Five leaves unfolded	81	Beginning of ripening: berries begin to brighten in colour
16	Six leaves unfolded	83	Berries brightening in colour
19	Nine or more leaves unfolded	85	Softening of berries
Principal growth stage 5	Inflorescence emergence	89	Berries ripe for harvest
53	Inflorescence clearly visible	Principal growth stage 9	Senescence
55	Inflorescence swelling, flowers closely pressed together	91	After harvest: end of wood maturation
57	Inflorescences fully developed, flowers separating	92	Beginning of leaf discoloration
Principal growth stage 6	Flowering	93	Beginning of leaf fall
60	First flowerhoods detached from the receptacle	95	50% of leaves fallen
		97	End of leaf fall
		99	Post-harvest treatments

Anexo E-Estados fenológicos da Videira – (Escala Baggiolini).

