

INOVAÇÃO E TECNOLOGIA NA FORMAÇÃO AGRÍCOLA

Editor
Ricardo Braga

Viticultura de Precisão



INOVAÇÃO E TECNOLOGIA NA FORMAÇÃO AGRÍCOLA

agrinov.ajap.pt

Coordenação Técnica:

Associação dos Jovens Agricultores de Portugal

Coordenação Científica:

Miguel de Castro Neto

Instituto Superior de Estatística e Gestão de Informação

Universidade Nova de Lisboa

Viticultura de Precisão

Editor

Ricardo Braga

Produção apoiada pelo Programa AGRO – Medida 7 – Formação Profissional,
co-financiado pelo Estado Português e pela União Europeia através do FSE

Projecto nº 3431144



Ministério da
Agricultura,
do Desenvolvimento
Rural e das Pescas



Ficha Técnica

Título

Viticultura de Precisão

Editor

Ricardo Braga

Editor

Associação dos Jovens Agricultores de Portugal

Rua D. Pedro V, 108 – 2º

1269-128 Lisboa

Tel.: 21 324 49 70

Fax: 21 343 14 90

E-mail: ajap@ajap.pt

URL: www.ajap.pt

Lisboa • 2009 • 1ª edição

Grafismo e Paginação

Miguel Inácio

Impressão

Gazela, Artes Gráficas, Lda.

Tiragem

150 ex.

Depósito Legal

299352/09

ISBN

978-989-8319-05-0

Distribuição Gratuita

Ricardo Braga



Licenciado em Engenharia Agronómica (1993) pelo Instituto Superior de Agronomia e Doutorado (2000) pela University of Florida, EUA. Actualmente é Professor Adjunto na Escola Superior Agrária de Elvas do Instituto Politécnico de Portalegre onde lecciona disciplinas de licenciatura e mestrado na área das novas tecnologias. Pertence igualmente ao centro de investigação “Centro de Botânica Aplicada à Agricultura” do Instituto Superior de Agronomia, tendo desenvolvido diversos projectos de I&D na área da agricultura de precisão, modelação de sistemas agrícolas e alterações climáticas. É autor de mais de 50 publicações científicas, técnicas e de divulgação.



Índice Geral

1.	INTRODUÇÃO	1
2.	VITICULTURA DE PRECISÃO: UM CASO PARTICULAR DE AGRICULTURA DE PRECISÃO	3
2.1.	O Conceito	3
2.2.	Variabilidade espaço-temporal.....	5
2.3.	Adopção da viticultura de precisão.....	8
2.4.	Adopção em Portugal e no mundo	9
2.5.	Monitorização da produtividade e qualidade.....	10
2.5.1.	Vindimadoras sem tegões	10
2.5.2.	Vindimadores com tegões	12
2.6.	Tecnologia de taxa variável (VRT)	14
2.7.	Detecção remota.....	15
2.8.	Condutividade eléctrica do solo.....	18
2.9.	Conclusões.....	21
2.10.	Referências	21
3.	VINDIMA SEGMENTADA: UM CASO DE ESTUDO EM ESTREMOZ.....	23
3.1.	Introdução.....	23
3.2.	Metodologia.....	26
3.3.	Resultados e discussão	31
3.4.	Conclusões.....	47
3.5.	Referências	48
4.	VITICULTURA DE PRECISÃO: UM CASO DE ESTUDO NA FUNDAÇÃO EUGÉNIO DE ALMEIDA, ÉVORA.....	49
4.1.	Introdução.....	49
4.1.1.	Área de estudo	51
4.1.2.	Metodologia.....	54
4.2.	Assinaturas espectrais	57
4.2.1.	Mosto.....	57
4.2.2.	Folha.....	58
4.3.	Variabilidade entre talhões da mesma casta.....	59
4.4.	Variabilidade espacial (pH).....	60
4.5.	Condutividade eléctrica	61

4.6. Conclusões.....	62
4.7. Referências	63
5. I-FARM: A EXPLORAÇÃO VITÍCOLA INTELIGENTE DA SOCIEDADE DA INFORMAÇÃO E DO CONHECIMENTO	65
5.1. Introdução.....	65
5.2. Tecnologias de informação e comunicação na agricultura	66
5.3. i-Farm.....	68
5.4. Business Intelligence.....	70
5.5. Business Intelligence na I-Farm.....	72
5.6. Desenvolvimentos futuros	80
5.7. Conclusões.....	81
5.8. Referências	81
6. CONCLUSÕES GERAIS.....	83

Índice de Tabelas

Tabela 1 – Parâmetros do variograma para a variável pH.....	60
--	----

Índice de Figuras

Figura 1 – Um exemplo de um mapa de produtividade de uma parcela de vinha com 7,3 ha da casta <i>Cabernet Sauvignon</i> em 2001	7
Figura 2 – Monitor de produtividade para vindimadoras sem tegão baseado em células de carga no tapete de descarga lateral	12
Figura 3 – Na Europa os modelos de vindimadora utilizados incorporam dois tegões no corpo da máquina.....	13
Figura 4 – Fotografia aérea de falsa - cor de uma parcela de vinha com resolução espacial de 30 cm (esquerda) e 3 m (direita).....	17
Figura 5 – Sensor de condutividade eléctrica aparente do solo por indução electro-magnética EM38 da GEONICS	19
Figura 6 – Sensor de condutividade eléctrica aparente do solo por contactos Veris 3100 da Veris technologies	20
Figura 7 – Diagrama de ilustração do conceito de vindima segmentada.....	25
Figura 8 – Diagrama de ilustração da qualidade das uvas ao longo da vindima e respectiva variabilidade espacial.....	26
Figura 9 – Aspecto da vinha pertencente à empresa Encostas de Estremoz, onde decorrem os ensaios de vindima segmentada	27
Figura 10 – Carta das parcelas e castas da Quinta da Esperança, Estremoz ...	28
Figura 11 – Localização das parcelas em estudo.....	28
Figura 12 – Pontos de amostragem para controlo de maturação na casta Touriga Nacional.....	30
Figura 13 – Cubas de fermentação com temperatura controlada (esquerda) e "sempre cheias" (direita) utilizadas para vinificar os dois lotes em estudo	31
Figura 14 – Evolução temporal do pH das uvas em 2006 em que cada linha representa um ponto de amostragem	32
Figura 15 – Evolução temporal do grau álcool provável (°) das uvas em 2006 em que cada linha representa um ponto de amostragem	33

Figura 16 – Evolução temporal da acidez total (g/l ac. tart.) das uvas em 2006 em que cada linha representa um ponto de amostragem	33
Figura 17 – Mapa de pH do mosto a 5 de Setembro (antes da vindima)	34
Figura 18 – Mapa de grau álcool do mosto a 5 de Setembro (antes da vindima)...	35
Figura 19 – Mapa de acidez total do mosto a 5 de Setembro (antes da vindima)	35
Figura 20 – Evolução temporal dos mapas de pH do mosto em 4 momentos (última semana de Julho, segunda semana de Agosto, última semana de Agosto e primeira semana de Setembro).....	36
Figura 21 – Evolução temporal dos mapas de grau álcool do mosto em 4 momentos (última semana de Julho, segunda semana de Agosto, última semana de Agosto e primeira semana de Setembro)	37
Figura 22 – Evolução temporal dos mapas de pH do mosto em 4 momentos (última semana de Julho, segunda semana de Agosto, última semana de Agosto e primeira semana de Setembro).....	37
Figura 23 – Localização das áreas que satisfazem os valores requeridos para cada parâmetro (a vermelho) correspondente ao lote “premium”.....	38
Figura 24 – Intercepção espacial das áreas que satisfazem os valores requeridos para cada parâmetro (a vermelho) de forma a localizar as áreas correspondentes ao lote “premium”	39
Figura 25 – Localização das áreas em que foram colhidas as uvas correspondentes aos dois lotes: a azul escuro - lote “premium”; a azul claro - lote “normal”	40
Figura 26 – Mapa de <i>Normalized difference vegetation index</i> à floração para a parcela em estudo	41
Figura 27 – Mapa de condutividade eléctrica aparente do solo para a parcela em estudo	42
Figura 28 – Mapa de altimetria para a parcela em estudo	43
Figura 29 – Mapa de <i>Normalized difference vegetation index</i> à floração para o conjunto das parcelas da Quinta da Esperança	44
Figura 30 – Mapa de condutividade eléctrica aparente do solo para o conjunto das parcelas da Quinta da Esperança	45
Figura 31 – Mapa de altimetria para o conjunto das parcelas da Quinta da Esperança.....	45
Figura 32 – Mapa de orientação do declive para o conjunto das parcelas da Quinta da Esperança.....	46

Figura 33 – Mapa do fluxo acumulado de escoamento das parcelas da Quinta da Esperança	46
Figura 34 – Mapa de radiação solar global anual das parcelas da Quinta da Esperança	47
Figura 35 – Talhões e castas da vinha	52
Figura 36 – Altimetria da área da vinha	52
Figura 37 – Carta de Declives da área da vinha	53
Figura 38 – Distribuição dos 50 pontos de amostragem nas parcelas 2B, 2C e 2D do talhão 2	54
Figura 39 – Medição das reflectâncias de uma folha no campo (esquerda); Perfil do <i>Leaf-Clip</i> (direita)	55
Figura 40 – Instalação para a medição das reflectâncias. (1) Espectroradiómetro; (2) Cabo de fibra óptica; (3) Sensor; (4) Placa de calibração; (5) Computador; (6) Fonte de iluminação (halogéneo - 75W)	55
Figura 41 – Medição da reflectância do mosto filtrado em laboratório	56
Figura 42 – Reflectâncias do mosto de 50 amostras do talhão 2 obtidas na primeira semana (esquerda); Detalhe para a região do visível (direita)	57
Figura 43 – Valores de PRI médios para cada casta ao longo do tempo (CS) <i>Cabernet Sauvignon</i> ; (A) <i>Aragonês</i> ; (T) <i>Tempranillo</i>	58
Figura 44 – Evolução dos valores de álcool provável ao longo do tempo para os talhões da casta <i>Aragonês</i>	59
Figura 45 – Mapa da variável pH para as parcelas 2C e 2D, interpolado por krigagem normal	60
Figura 46 – Mapa da condutividade eléctrica aparente da vinha do casito.....	62
Figura 47 – Arquitectura da i-Farm	69
Figura 48 – Arquitectura de alto-nível	71
Figura 49 – Localização das “Ilhas” da i-Farm	73
Figura 50 – Caracterização espacial da parcela	73
Figura 51 – Arquitectura de alto-nível de BI da i-Farm	74
Figura 52 – Imagens de alguns dos equipamentos instalados na i-Farm	75
Figura 53 – <i>Digital Dashboard</i> da i-Farm.....	77
Figura 54 – <i>Digital Dashboard</i> da i-Farm.....	78
Figura 55 – Algumas funcionalidades do <i>digital dashboard</i> da i-Farm.....	79

1. INTRODUÇÃO

O objectivo deste manual não é introduzir os leitores aos princípios e tecnologias envolvidas na Agricultura de Precisão. O objectivo deste manual pretende sim dar a conhecer a forma como a agricultura de precisão pode ser aplicada em vitivinicultura.

É um facto que a Agricultura de Precisão se encontra bastante mais desenvolvida em culturas arvenses. Isso deve-se ao facto de ter sido por aí que os principais desenvolvimentos se fizeram e onde, inicialmente, no início dos anos 90 do século passado, se perceberam as maiores vantagens e retornos como resultado das maiores áreas de cultivo. De facto, a uma maior superfície de exploração está associada uma maior variabilidade espacial e, portanto, uma maior oportunidade para tirar partido das tecnologias de taxa variável.

Mais recentemente (últimos 12 anos), o conceito de agricultura de precisão começou a ser aplicado em culturas hortícolas, e em particular, nas de maior margem bruta e, portanto, mais aptas a “pagar” o investimento necessário em equipamento, formação, etc. Em adição, a estas últimas culturas está geralmente associado o facto de, além da produtividade, ser também extremamente importante e decisiva a qualidade do produto produzido.

É neste contexto que surge a aplicação da agricultura de precisão à viticultura, subdomínio que tomou a designação de “viticultura de precisão”. Assim, este manual pretende ser uma introdução, simultaneamente informadora e útil, para que o empresário do sector vitivinícola possa tomar as mais correctas e acertadas decisões sobre o tema.

O sector da Vinha e do Vinho é um dos mais importantes de toda a produção agrícola em Portugal. Por essa razão, o aumento da competitividade do sector é fundamental para o desenvolvimento não só da agricultura como do próprio país. A competitividade é atingida pela redução dos custos de produção e pelo aumento do valor do produto final, que passa fundamentalmente pela melhoria da qualidade. A racionalização da utilização dos factores de produção como os nutrientes e os fitofármacos contribui decisivamente para a redução dos

impactes ambientais de qualquer cultura e, em particular, da vinha.

As novas tecnologias geo-espaciais (GPS, GIS, Mapeamento da Colheita, VRT, etc.) são uma das vias mais eficientes para garantir uma gestão eficiente de recursos. As parcelas de vinha, mesmo quando plantadas com a mesma casta em toda a sua área, não são homogêneas no espaço. Existe variabilidade espacial, que qualquer viticultor atento pode testemunhar. A origem dessa variabilidade é diversa como diversas são as variáveis que controlam o processo produtivo.

Algumas das fontes de variação com maior impacto na produtividade e qualidade das uvas são a reserva de água facilmente utilizável do perfil do solo, o tipo de solo, a orientação do declive e os padrões de drenagem. Além da variabilidade da produtividade, também a qualidade da uvas varia no espaço dentro da mesma parcela/casta.

Os principais esforços em viticultura de precisão recaem em duas áreas principais de actuação: (a) O mapeamento da variabilidade espacial da qualidade das uvas de forma a possibilitar que as melhores uvas cheguem à adega em lotes separados; (b) O mapeamento da variabilidade espacial da produtividade/vigor das parcelas de forma a permitir uma gestão espacial dos factores.

Neste manual são apresentadas metodologias para permitir o mapeamento da qualidade das uvas antes da vindima e deste modo proceder a uma vindima segmentada, i.e., que permite a separação de lotes de qualidade diferenciada dentro de uma mesma parcela/casta. Por outro lado são igualmente apresentadas tecnologias que permitem a gestão espacial dos factores de produção conseguindo simultaneamente uma redução dos custos de produção e uma redução do impacto ambiental da actividade vitivinícola.

2. VITICULTURA DE PRECISÃO: UM CASO PARTICULAR DE AGRICULTURA DE PRECISÃO

Ricardo Braga (1)

(1) Escola Superior Agrária de Elvas, Instituto Politécnico de Portalegre, ricardo_braga@esaelvas.pt

2.1. O Conceito

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

Esta definição é suficientemente abrangente, quase se poderia classificar como viticultura de precisão *sensu lato*, para se poder incluir nela um largo espectro de actuações, sobretudo se se der maior ênfase à variabilidade temporal. Por exemplo, de acordo com aquela definição, a monitorização do stress hídrico com recurso a sondas de água no solo poderia ser incluída na viticultura de precisão. Neste âmbito, viticultura de precisão seria quase sinónimo de viticultura mais criteriosa, rigorosa, pormenorizada, de base científica. E, na realidade, tem-se verificado que bastantes prestadores de serviços, talvez na ânsia de beneficiar do interesse que a viticultura de precisão tem gerado, talvez por estar associada a inovação e tecnologia (!), têm usado e abusado do termo para “vender” qualquer produto que envolva alguma tecnologia ou serviço que requeira mais minúcia e “know how”.

Na prática, a viticultura de precisão envolve sempre uma preponderante componente de gestão da variabilidade espacial. É essa componente que é verdadeiramente nova e diferenciada do que se vem fazendo nas últimas duas décadas no sector.

Outra ideia que em geral está associada à viticultura de precisão (e agricultura de precisão) é a de que esta envolve sempre o uso intenso de tecnologias geo-espaciais (GPS, GIS, Mapeamento da Colheita, VRT, etc.). Apesar de isso ser verdade na maioria das aplicações e casos práticos, sobretudo em culturas arvenses (em que a área das parcelas é na ordem das dezenas de hectares), aplicações há em que o bom senso manda que a utilização daquelas tecnologias não seja recomendável, necessária ou sequer economicamente viável ao nível da exploração agrícola. Basta pensar, por exemplo, numa aplicação diferenciada de herbicida em que, em vez de se investir em tecnologia VRT, o operador consegue sem grande esforço ou erro fazer a aplicação localizada de forma manual. Ou em que após a realização de amostras de solo, o empresário divide a parcela em duas ou mais unidades de fertilidade distinta (e.g. diferentes níveis de matéria orgânica) e as trata de forma diferenciada (e.g. diferentes níveis de azoto). Ou ainda quando o empresário decide fazer enrelvamento da entre-linha apenas em determinadas zonas de uma mesma parcela (e.g. zonas mais baixas, de maior fertilidade do solo).

Sendo certo que nesta aproximação “low tech” quase nunca se estará a trabalhar com elevada resolução espacial, as suas aplicações enquadram-se perfeitamente no âmbito da viticultura de precisão e não envolvem sequer a utilização do GPS.

Uma questão central na viticultura de precisão é a gestão da informação. A maioria das aplicações em viticultura de precisão envolvem quase sempre um grande volume de dados que é preciso gerir e converter em informação útil que possa ser utilizada como base no processo de tomada de decisões no dia-a-dia das explorações. A redução do custo da monitorização do meio ambiente e das próprias plantas, por exemplo com recurso a estações meteorológicas e fito-sensores, gera muitas vezes um grande volume de dados que em si mesmos pouco valor têm se não forem correctamente interpretados.

Neste sentido, a viticultura de precisão resulta do impacto da “revolução da informação” com a disponibilização de elevadas quantidades de dados a preço cada vez mais reduzido. De facto, a era digital trouxe a rápida expansão de serviços, técnicas, aplicações, equipamentos e electrónica utilizadas para o

registo, manipulação, processamento, classificação, armazenamento e recuperação de informação. Todos estes processos têm como suporte os computadores, softwares, redes, telecomunicações e bases de dados.

A viticultura de precisão, fruto da sua juvenilidade, encontra-se actualmente num ponto em que é tecnicamente capaz de recolher enormes quantidades de dados (mapas de produtividade, mapas de nutrientes no solo, mapas de condutividade eléctrica no solo, etc.) mas ainda não está, de um modo geral, suficientemente habilitada para os integrar e converter em decisões capazes e tecnicamente válidas.

2.2. Variabilidade espaço-temporal

O sucesso da viticultura de precisão prende-se com a existência de variabilidade da produtividade e/ou da qualidade. Antes de qualquer consideração sobre variabilidade é necessário referir a existência de diversas escalas de variabilidade. Por exemplo, a produtividade de duas plantas justapostas pode ser totalmente distinta, o mesmo acontecendo com a qualidade de dois cachos de uma mesma planta. Deste modo, no âmbito da viticultura de precisão, a variabilidade é sempre considerada a uma escala de pelo menos alguns metros quadrados (e.g. 10 m²) e a variabilidade entre plantas justapostas ou dentro da mesma planta considerada simples ruído.

Os factores que determinam a produtividade e a qualidade das plantas são variáveis no espaço e no tempo. No entanto, quanto à variabilidade, os factores mais determinantes podem caracterizar-se em dois grupos principais: estáveis no tempo e variáveis no espaço ou variáveis simultaneamente no tempo e no espaço. No primeiro grupo incluem-se as propriedades físicas do solo enquanto no segundo estão incluídos factores como o teor de água no solo ou a incidência de pragas e doenças. Outros factores podem ser temporalmente variáveis mas espacialmente estáveis, como por exemplo a radiação solar incidente.

Os factores que determinam a variabilidade da produtividade podem ser divididos quanto à sua origem entre os que são de origem natural e os que resultam da intervenção do homem. Nos factores de origem natural incluem-se

a reserva de água facilmente utilizável do perfil do solo, o tipo de solo, a orientação do declive e padrões de drenagem natural, o padrão de incidência de pragas e doenças, etc. Quanto a factores que resultam da intervenção do homem há variadíssimas fontes de variabilidade: material de propagação de reduzida qualidade; porta-enxertos ou clone diferentes; aplicação não uniforme de água e/ou fertilizantes; más práticas de poda, gestão das infestantes, intervenções em verde, etc.

Como regra geral, se não existir variabilidade espacial então a viticultura de precisão não se justifica, sendo totalmente óbvio manter a gestão uniforme das parcelas. Na maior parte das situações o que se verifica é que existe variabilidade espacial e temporal, mas com magnitudes relativas bastante diversas. Quase sempre a variabilidade temporal é maior que a variabilidade espacial, o que conduz a que seja sempre necessário verificar se o tratamento diferenciado no espaço conduz a uma melhor estratégia relativamente ao tratamento uniforme. Haverá então um ponto em relação ao qual a variabilidade temporal é suficientemente pequena proporcionalmente à variabilidade espacial, que justifique as intervenções diferenciadas.

Além da proporção entre a variabilidade espacial e temporal, também o seu valor absoluto é importante. A oportunidade e viabilidade económica da actuação diferenciada é tanto maior quanto maior for a magnitude da variabilidade encontrada em termos absolutos. A variabilidade espacial pode também, apesar de elevada, apresentar um padrão tão aleatório que torne inviável a sua gestão.

Estes aspectos relacionados com a caracterização da variabilidade das parcelas afectam bastante a adopção da viticultura de precisão. E como é fácil de constatar torna-se complexo dar “receitas” ou estabelecer à partida limiares de rendibilidade, já que tudo dependerá das especificidades de cada parcela/exploração. É então necessário avaliar caso-a-caso até que ponto a variabilidade existente compensa o esforço adicional em termos de aquisição de equipamentos, obtenção de informação de base, formação dos operadores, etc., necessário à sua gestão.

Existem já bastantes referências, sobretudo na Austrália mas também em França, Espanha, Chile, Portugal e Estados Unidos que documentam uma

elevada variabilidade espacial da produtividade em parcelas de vinha. A figura 1 mostra um desses exemplos em que em apenas 7,3 ha é possível observar uma variação do simples para o séptuplo. Não é difícil imaginar, mesmo se outros factores não existem, o contributo desta variação para a diferenciação da qualidade das uvas. No entanto, mesmo que tal não se verificasse, a magnitude da variabilidade espacial da produtividade é enorme e deixa antever desde logo uma série de implicações que interessa explorar.

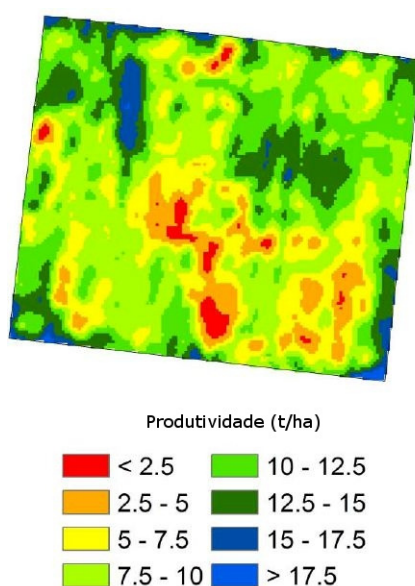


Figura 1 – Um exemplo de um mapa de produtividade de uma parcela de vinha com 7,3 ha da casta *Cabernet Sauvignon* em 2001

Vários estudos têm alertado para a importância da implantação da vinha na variabilidade espacial da vinha anos mais tarde. Deste modo, torna-se importante que, por exemplo, o delineamento das parcelas e dos sectores de rega e a escolha dos porta-enxertos leve em linha de conta a variabilidade espacial do ambiente nas vertentes solo (química e física) e topografia. Em última análise, a consideração daqueles aspectos na implantação pode posteriormente evitar alguma variabilidade espacial ou mesmo a necessidade de adopção da viticultura de precisão.

2.3. Adopção da viticultura de precisão

Além dos aspectos referidos no ponto anterior relacionados com a caracterização da variabilidade, a adopção da viticultura de precisão é igualmente favorecida por outros factores mais genéricos mas não menos importantes.

A viticultura é uma actividade agrícola intensiva em aplicação de factores de produção, com elevados níveis de mecanização e que produz um produto com elevado valor acrescentado. Na maioria das vezes é também uma actividade em que os empresários estão bastante conscientes da necessidade de busca de qualidade e de diferenciação, e por vezes, com a dimensão suficiente para dispor de capital para investir.

Ao contrário da agricultura de precisão em culturas arvenses, em viticultura as plantas são sempre as mesmas de ano para ano, o que elimina logo uma importante fonte de variabilidade quer em termos genéticos quer em termos de densidade de plantas. Esse factor permite também uma maior persistência dos registos de ano para ano, i.e., permite a construção de um sistema de informação com maior consistência temporal. A contribuir para essa consistência está também a maior intensidade do sistema produtivo ao permitir a obtenção de registos com maior resolução temporal.

A elevada capacidade de actuação na gestão das plantas favorece também a adopção da viticultura de precisão em relação às culturas arvenses. De facto, em viticultura existe uma grande capacidade de influenciar o crescimento das plantas através de intervenções como a poda de inverno, a poda em verde, a monda de cachos, etc.

Finalmente, a adopção da viticultura de precisão dependerá do objectivo inicial de cada exploração vitivinícola e o seu contexto no mercado. Com efeito, a gestão da variabilidade pode ser orientada para (1) garantir uma maior estabilidade do produto produzido de ano para ano; (2) a manutenção de um registo de monitorização técnica e ambiental de modo a garantir uma maior rastreabilidade do processo produtivo; (3) a utilização mais eficiente dos recursos face a objectivos de produção; (4) a identificação de zonas de produção de uvas com potencial para vinhos topo de gama.

Ao contrário do que poderá parecer intuitivo, a viticultura de precisão não deve ter como objectivo principal a uniformização da produtividade de uma determinada parcela. Dada a diversidade de causas da variabilidade e a natureza de algumas delas, na maioria das parcelas será impossível atingir a total uniformidade. Em vez disso, a viticultura de precisão deve em larga medida tentar tirar partido da variabilidade existente, identificando-a e gerindo-a, no sentido de atingir determinados objectivos.

Por vezes, as actuações podem ser pontuais no sentido de resolver estrangulamentos ou deficiências identificadas no mapa de produtividade. Por exemplo, alguns mapas de produtividade têm demonstrado a ineficácia do sistema de rega em proporcionar dotações uniformes em toda a extensão dos sectores, ao mostrarem variações progressivas em função da localização da bomba de rega. Noutros casos, os mapas de produtividade expõem zonas muito localizadas de excesso de vigor que depois se confirmam estar associadas a fugas do sistema de rega.

2.4. Adopção em Portugal e no mundo

A viticultura de precisão começou por ser adoptada na Austrália nos finais dos anos 90 do século passado em resultado do esforço de um consórcio entre empresas, associações profissionais e instituições de I&D. As duas grandes áreas de desenvolvimento inicial foram (a) aplicação de detecção remota, sobretudo no visível e infra-vermelho e em baixa altitude, na caracterização da variabilidade espacial; e (b) obtenção de mapas de produtividade e qualidade, sua caracterização e causas. Actualmente existem diversas empresas australianas a fornecer serviços de apoio à viticultura de precisão como mapas de NDVI, mapa da condutividade eléctrica do solo e um fabricante de monitores de produtividade para vindimadoras de descarga lateral (*Advanced Technology Viticulture*) não associado directamente a nenhum dos principais fabricantes de vindimadoras.

Posteriormente, os EUA e a França desenvolveram também alguns estudos e aplicações práticas em viticultura de precisão, tendo sido seguidos pelo Chile, Grécia, Espanha e Portugal. Também nestes países já existem empresas a fornecer serviços específicos para a viticultura de precisão, designadamente

mapas de NDVI para suporte à segmentação da vindima.

Não existem dados quantificados da taxa de adoção da viticultura de precisão em explorações vitícolas em cada país. Deste modo, apenas se poderá inferir sobre essa adoção pelos prestadores de serviços disponíveis em cada caso e pelos estudos realizados.

2.5. Monitorização da produtividade e qualidade

A produtividade por si só não tem, em viticultura, a importância que lhe é atribuída nas culturas arvenses. Neste sector, a qualidade das uvas é extremamente variável e a elevada qualidade é muitíssimo bem remunerada. Desta forma, a maioria dos produtores, não está interessada simplesmente em obter elevadas produtividades, mas sim em atingir uma solução de compromisso entre produtividade e qualidade optimizada. Não obstante, a monitorização da produtividade continua a ter um lugar central em viticultura de precisão já que sendo o culminar de todas as operações culturais e condicionalismos ao longo de uma campanha, expressa de forma ímpar a variabilidade de cada parcela.

Tal como para as ceifeira-debulhadoras, os monitores de produtividade para vindimadoras são constituídos por um GPS, por uma consola que regista e armazena os registos e por um sensor de produtividade. Estão publicados também protocolos para obtenção de um mapa de produtividade a partir de dados de vindima manual.

2.5.1. Vindimadoras sem tegões

Comercialmente apenas existe um sensor de produtividade, da australiana *Advanced Technology Viticulture*, para vindimadoras sem tegões em que as uvas são descarregadas lateralmente em contínuo para reboques. Esta descarga lateral é feita por tapete rolante, debaixo do qual se encontram sensores de carga que registam o peso das uvas que são transportadas. Associando esta leitura ao posicionamento fornecido pelo GPS obtêm-se valores de produtividade geo-referenciados e daí os mapas de produtividade.

O primeiro monitor de produtividade para vindimadoras foi desenvolvido em

1998 na Austrália (*University of Melbourne e SouthCorp Pty. Ltd.*) e tinha como sensores células de carga instaladas sob os reboques de descarga. A partir das leituras contínuas do peso das uvas, eram derivados os valores da produtividade instantânea. Este modelo nunca foi comercializado devido aos elevados erros registados nas leituras resultantes das constantes vibrações em condições de campo.

O primeiro monitor de produtividade para vindimadores que chegou a ser comercializado foi desenvolvido pela HarvestMaster (EUA), o HM-500, e era um monitor genérico para as culturas em que durante a colheita o produto colhido é transportado por um tapete rolante para um reboque lateral, i.e., uva, beterraba, batata, etc. Utilizava células de carga para registar o peso das uvas, contudo, devido novamente a vibrações e erros, a comercialização deste monitor foi abandonada. Posteriormente, em 1999, a HarvestMaster desenvolveu um novo modelo também já abandonado, o HM-570, que equipado com sensores de ultra-som, estimava a massa de uvas no tapete de descarga através da estimativa do seu volume. O abandono deste modelo esteve associado à elevada manutenção necessária para manter os níveis de erro abaixo do aceitável e ao facto de que era necessário calibra-lo para cada casta.

Em 2001, outra empresa australiana, a Farmscan, desenvolveu também um monitor de produtividade para vindimadoras sem tegão baseado novamente em células de carga no tapete de descarga lateral, mas com uma frequência de amostragem superior à anteriormente utilizada na tentativa de reduzir os erros resultantes das vibrações (Figura 2). Este monitor de produtividade foi testado na Austrália, Espanha e EUA mas deixou igualmente de estar disponível comercialmente.



Figura 2 – Monitor de produtividade para vindimadoras sem tegão baseado em células de carga no tapete de descarga lateral

2.5.2. Vindimadores com tegões

As vindimadoras sem tegões são as mais utilizadas em países como Austrália e EUA. De facto este tipo de modelo está melhor adaptado à maior dimensão das parcelas e respectivo comprimento das linhas. Na Europa os modelos de vindimadora utilizados incorporam dois tegões no corpo da máquina (Figura 3). Para estes modelos não existem, infelizmente, monitores de rendimento comercialmente disponíveis. Há, contudo, diversos esforços nesse sentido.

Em França a Pellenc está a trabalhar, juntamente com o INRA Montpellier, num monitor de produtividade especificamente para as suas máquinas, mas cujo lançamento tem vindo a ser sucessivamente adiado. O sensor deste monitor é uma célula de carga montada sob cada um dos tapetes transversais de acesso aos tegões, no final dos quais se encontra um dispositivo adicional de medição. Os erros resultantes das vibrações da máquina são corrigidos pela montagem de uma célula de carga de referência de peso conhecido. Este monitor regista também em tempo real o pH e o grau Brix das uvas, através de um potenciómetro e um refractómetro, respectivamente.

A New Holland em parceria com a Farmscan, já trabalhou num sensor de

produtividade com sensor de célula de carga montada igualmente sob cada um dos tapetes transversais de acesso aos tegões. Este esforço foi também abandonado devido aos elevados erros encontrados.



Figura 3 – Na Europa os modelos de vindimadora utilizados incorporam dois tegões no corpo da máquina

A empresa espanhola DISTROMEL desenvolveu um monitor de produtividade em que a produtividade é medida por sensores de carga instalados em dois pontos de apoio de cada um dos tegões: o posterior e o inferior. Este monitor ainda se encontra em fase de teste, nomeadamente em relação à resistência à rotação no ponto de apoio posterior do tegão após a instalação da célula de carga.

A Universidade Politécnica de Madrid está a desenvolver um monitor de produtividade associado a um sensor de grau brix. O sensor de produtividade é também uma célula de carga mas instalada apenas no ponto de apoio frontal de cada um dos tegões, cujo registo é depois relacionado com o peso de todo o tegão. Finalmente, a Escola Superior Agrária de Elvas/Instituto Politécnico de

Portalegre desenvolveu um protótipo para um monitor de produtividade com base em sensores de ultra-som para estimativa do aumento de volume. A produtividade é estimada com base no peso específico dos bagos vindimados, cujo valor é específico para cada casta. Este monitor foi testado em Estremoz com erros inferiores a 6%.

2.6. Tecnologia de taxa variável (VRT)

A tecnologia de taxa variável permite que após uma detalhada caracterização da variabilidade espacial da cultura (produtividade, qualidade das uvas, vigor, etc.) e fertilidade do solo (condutividade eléctrica, nutrientes, pH, etc.) seja possível uma gestão espacial de factores de produção (rega, fertilizantes, fitofármacos, etc.) e operações culturais (mobilização, poda, etc.). Para isso é necessário criar mapas de prescrição que contenham a recomendação para determinado factor de produção (e.g. taxa de aplicação de determinado fertilizante) de cada local da parcela.

Os mapas de prescrição são então introduzidos em máquinas de distribuição com tecnologia VRT, que dispõem de controladores que, em função da localização na parcela têm a capacidade de alterar em tempo real a taxa de aplicação. Tecnicamente já existem soluções comerciais para adaptar a maioria dos distribuidores de adubo e pulverizadores à tecnologia VRT.

Em viticultura, existem ainda poucos exemplos práticos da utilização da tecnologia VRT. Isto deve-se ao facto de a viticultura de precisão ser uma área recente e, por isso, na maioria dos casos de aplicação ainda estar na fase de caracterização da variabilidade existente.

É de prever que, além, da aplicação diferenciada de fertilizantes, a aplicação diferenciada de fitofármacos venha a assumir alguma relevância em viticultura. De facto, fará sentido fazer variar a taxa de aplicação de fitofármacos em função da dimensão da canópia de modo a aumentar a eficácia dos tratamentos. A caracterização da canópia pode ser obtida através de detecção remota.

2.7. Detecção remota

A detecção remota entendida como o registo da energia emitida ou reflectida pela superfície terrestre em diversos comprimentos de onda do espectro electromagnético tem diversas aplicações em viticultura de precisão. Existem diversas empresas com produtos específicos para a viticultura, incluindo em Portugal, sobretudo com base em imagens recolhidas de aviões a baixa altitude. Desta forma é possível obter imagens das parcelas com resoluções espaciais na ordem dos 10 cm ou menos que permitem uma caracterização da canópia impraticável pelos métodos tradicionais em termos de extensão e rapidez.

As imagens provenientes de satélites apresentam algumas desvantagens em relação às obtidas a partir de aviões na utilização em viticultura de precisão. Em primeiro lugar o seu custo é elevadíssimo já que não é possível comprar apenas a parte da imagem correspondente a determinada exploração. Em segundo lugar não é possível controlar a data exacta de obtenção da imagem, o que se torna crítico em viticultura quando pretendemos a sua obtenção para um determinado estado fenológico. Finalmente, a susceptibilidade à presença de nuvens, que interferem na qualidade da imagem, é maior.

A principal aplicação da detecção remota em viticultura de precisão é a obtenção de mapas de vigor e estado vegetativo das plantas como variável indicativa da qualidade da uva. Posteriormente, estes mapas são, após validação, utilizados para delineamento de vindima segmentada. Outras aplicações da detecção remota incluem apoio à monda de cachos e outras intervenções em verde, mapeamento das parcelas, localização de falhas, etc.

Com este intuito, as bandas do vermelho e infra-vermelho das imagens são combinadas para produzir um índice que expresse de forma clara a variável que se pretende mapear, i.e., vigor, estado vegetativo, etc. O índice mais utilizado é o NDVI (*Normalised Difference Vegetation Index*) obtido pela expressão:

$$NDVI = \frac{(\text{infravermelho próximo} - \text{vermelho})}{(\text{infravermelho próximo} + \text{vermelho})}$$

O NDVI é provavelmente o índice de vegetação mais utilizado para caracterizar

o estado vegetativo das plantas. O seu valor varia entre os valores -1 e 1, sendo que quanto mais próximo de 1 for o valor do NDVI maior será a capacidade fotossintética da vegetação. De facto, as plantas em bom estado vegetativo absorvem radiação no visível (0,4 a 0,7 μm), onde se encontra o comprimento de onda do vermelho (0,6 a 0,7 μm), e reflectem no infravermelho próximo (0,7 a 1,1 μm). Como resultado, na imagem de detecção remota, surgirá um maior registo na banda do infravermelho e menor no vermelho. À medida que a capacidade fotossintética se degrada, em resultado de stress hídrico ou azotado, incidência de doenças, etc., as plantas passam a absorver menos no vermelho, e portanto a reflectir mais, e a absorver mais no infravermelho.

Não existem relações universais entre o valor do NDVI e a dimensão ou índice de área foliar (IAF) da canópia, e muito menos com indicadores de qualidade das uvas. Deste modo, é sempre necessário validar no campo os mapas de NDVI fornecidos pela detecção remota e tomar em consideração variações de casta, sistema de condução, densidade de plantação, espaçamento na entrelinha, monda de folhas e cachos, etc. Apesar de alguns estudos terem mostrado uma relação linear entre o NDVI e o IAF (entre 0 e 2), será de ter em conta a saturação daquele índice de vegetação para IAFs mais elevados (> 3,5).

Além do NDVI, têm sido utilizados outros índices de vegetação em viticultura, tais como:

- *Plant Cell DEnsity (PCD)* =
$$\frac{(\text{infravermelho próximo})}{(\text{vermelho})}$$
- *Photosynthetic Vigour Ratio* =
$$\frac{(\text{verde})}{(\text{vermelho})}$$
- *Plant Pigment Ratio* =
$$\frac{(\text{verde})}{(\text{azul})}$$

Uma dificuldade na utilização da detecção remota em viticultura prende-se com o facto de a cultura não cobrir totalmente o solo e, deste modo, ser

necessário separar os pixels nas imagens correspondentes à entrelinha e à cultura. Em resoluções espaciais superiores à largura da entrelinha essa separação é impossível e cada pixel representa o comportamento tanto da cultura como da entrelinha, quer esta esteja coberta com vegetação ou não. Já para resoluções espaciais inferiores ao espaçamento da entrelinha, a separação torna-se possível e aconselhável já que proporciona uma análise mais rigorosa, embora mais exigente em termos de processamento (Figura 4).

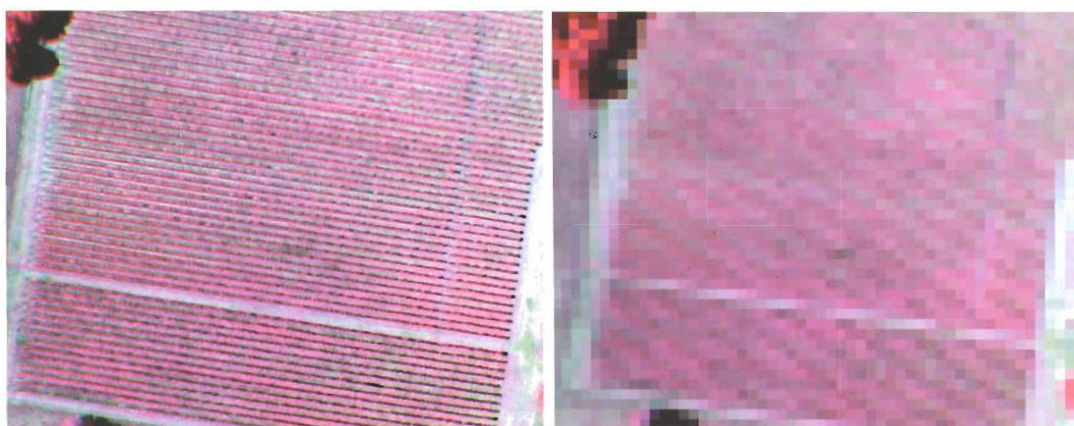


Figura 4 – Fotografia aérea de falsa - cor de uma parcela de vinha com resolução espacial de 30 cm (esquerda) e 3 m (direita)

Fonte: adaptado de Proffitt *et al.*, 2006

As imagens de detecção remota a partir de aviões devem ser obtidas em dias sem nuvens e próximo do meio-dia. Deste modo minimizam-se os efeitos das sombras quer das nuvens quer das próprias plantas.

O estado fenológico em que são obtidas as imagens é um aspecto extremamente importante a ter em conta. Segundo estudos efectuados na Austrália, a relação entre o NDVI e a produtividade das plantas melhora até ao pintor, piorando depois até à maturação. Em relação aos parâmetros de qualidade das uvas verifica-se o inverso. Deste modo, o melhor período para obter imagens será o de duas a três semanas em torno do pintor.

2.8. Condutividade eléctrica do solo

A condutividade eléctrica do solo exprime a capacidade deste em conduzir corrente eléctrica e é expressa em miliSiemens por metro (mS/m). A condutividade eléctrica do solo sempre foi utilizada para medir a salinidade do solo. Contudo, quando a salinidade não é um problema preponderante, a condutividade eléctrica pode também ser utilizada para estimar a variação de algumas propriedades físicas do solo. Para isso, existem sensores de campo, que quando associados a um GPS, permitem a obtenção de um mapa da condutividade eléctrica aparente do solo.

Os sensores de condutividade eléctrica aparente do solo (CEa) são já bastantes utilizados em viticultura de precisão e têm particular interesse em projectos de plantação de vinhas como apoio ao delineamento das parcelas, dos sectores de rega ou à escolha dos porta-enxertos.

A CEa varia com uma série de factores sendo que os quatro principais são a humidade do solo, a percentagem de argila, o tipo de argila e a concentração iónica na solução do solo. Para valores aproximadamente idênticos de humidade e salinidade do solo, quanto mais elevado for o teor de argila maior será a CEa. A possibilidade de mapear uma variável relacionada com o teor de argila torna-se extremamente importante dada a sua relação com características do solo como a capacidade de troca catiónica e capacidade de retenção de água.

Há dois principais tipos de sensores de CEa: (a) por indução electro-magnética; (b) por contacto.

Os sensores de CEa por indução electro-magnética (Figura 5) estabelecem um campo electro-magnético que penetra no solo criando um campo electro-magnético secundário. A magnitude deste último é medida pelo sensor, que não chega a contactar com o solo, e o rácio entre os dois campos electro-magnéticos é convertido num valor de CEa. Esta pode ser medida a diferentes profundidades sendo necessário utilizar sensores distintos. O sensor por indução electro-magnética mais utilizado em agricultura é o EM38 da Geonics, que faz leituras a cerca de 1 metro de profundidade, existindo vários prestadores de serviços com este equipamento em Portugal. A Geonics dispõe

já de outros modelos de sensores de CEa montados e com a possibilidade de ajustar a profundidade do registo.



Figura 5 – Sensor de condutividade eléctrica aparente do solo por indução electro-magnética EM38 da GEONICS

Fonte: extraído de <http://www.geonics.com>

O levantamento com o EM38 é bastante simples e expedito já que o sensor não chega a contactar com o solo. Assim, basta percorrer as parcelas rebocando o sensor junto ao solo em passagens paralelas. Quanto maior a variabilidade espacial do solo, menor deverá ser a distância entre passagens.

Uma desvantagem dos sensores por indução magnética é a sua sensibilidade a presença de metais na sua proximidade. Desta forma, as leituras feitas em parcelas com postes de madeira, por exemplo, irão diferir de magnitude quando comparadas com leituras em parcelas com postes metálicos. A variabilidade espacial continua a ser visível nos dois casos mas existirá uma considerável diferença de magnitude. Assim, e porque o que se pretende na maior parte das situações é expor a variabilidade espacial das características do solo independentemente do valor absoluto, estes sensores podem ser utilizados em viticultura antes e depois da plantação.

Os sensores por contacto (Figura 6) entram em contacto directo com o solo por intermédio de discos que emitem uma corrente eléctrica (DC) cuja voltagem resultante é medida para estimar a resistividade, i.e., o inverso da condutividade. A distância entre os discos, que funcionam como eléctrodos, determina a profundidade da leitura, que desta forma pode ser regulável. Estes sensores registam valores absolutos da resistividade e necessitam de menor calibração.

O sensor de CEa por contacto mais utilizado em agricultura é o Veris 3100 da Veris Technologies, que é arrastado e mede a resistividade às profundidades de 30 e 90 cm. A mesma empresa dispõe já de outros modelos de sensores de CEa montados e com a possibilidade de ajustar a profundidade do registo. Ainda da mesma empresa, mas ainda sem a mesma divulgação/experimentação, encontram-se disponíveis sensores de campo para o pH e carbono/matéria orgânica do solo (este último já tendo em vista o levantamento do carbono do solo para, além das aplicação em agricultura de precisão, a contabilização do sequestro no contexto do mercado do carbono).



Figura 6 – Sensor de condutividade eléctrica aparente do solo por contactos Veris 3100 da Veris technologies

Fonte: extraído de <http://www.veristech.com>

Em qualquer um dos métodos, e de modo a que o teor de água no solo não seja a principal variável a determinar a variabilidade espacial da condutividade eléctrica, é aconselhável que os registos sejam feitos quando solo se encontra aproximadamente a 3/4 da capacidade de campo. Desta forma, os levantamentos deverão ocorrer aproximadamente no início da Primavera ou no Outono.

2.9. Conclusões

A viticultura de precisão representa a adaptação do conceito de agricultura de precisão à vitivinicultura. Se as tecnologias base da viticultura de precisão são as mesmas que na agricultura de precisão, os objectivos com que se aplicam podem tomar novos contornos. E é de facto nas aplicações da informação geo-referenciada que se deve focar a viticultura de precisão e não na aplicação de tecnologia.

Como consequência da evolução temporal, a viticultura de precisão está ainda a dar os primeiros passos. A obtenção da informação geo-referenciada é ainda algo dispendiosa (e.g. levantamento da condutividade eléctrica aparente, mapa de NDVI) para que a sua utilização na tomada de decisões se torne mais generalizada. Noutros casos ainda não há soluções comerciais disponíveis, como no caso do monitor de rendimento para vindimadoras com tegões.

É também necessária uma grande evolução no sentido de criar bases para a integração e conversão de todos os dados recolhidos em decisões no dia-a-dia das explorações.

A utilização eficiente de novos recursos é um enorme desafio que se coloca perante todos os agentes do sector, obrigando a reformular a forma de pensar e implementar algumas das operações culturais. Contudo, trata-se de um desafio inevitável que urge enfrentar o mais depressa possível sob pena de provocar atrasos, quiçá irreversíveis, com todas as consequências económicas que isso poderá trazer.

2.10. Referências

- 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**: 33-42.
- Bramley, R.G.V.** and **Hamilton, R.P.** (2003). Understanding variability in winegrape production systems. 1. Within vineyard variation in yield over several vintages. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, **10**: 32-45.

- Johnson *et al.*** (1998). Of pixels and palates: Can geospatial Technologies help produce a better wine? *Proceedings, 1st Int'l Conf. Geospatial Information in Agriculture & Forestry*. Lake Buena Vista, Florida, 1-3 June.
- McBratney, A.B. & Taylor, J.A.** (2000). PV or not PV? *Proceedings of the 5th International Symposium on Cool Climate Viticulture and Oenology - a workshop on Precision Management*. Melbourne, 10p.
- Proffitt, T., R. Bramley, D. Lamb, and E. Winter.** (2006). Precision Viticulture: A New Era in Vineyard Management and Wine Production. WineTitles, Adelaide. 90p.
- Taylor, J.** (2004). Digital terroirs and precision viticulture: investigations into the application of information technologies in Australian vineyards. PhD Thesis. The University of Sydney.

3. VINDIMA SEGMENTADA: UM CASO DE ESTUDO EM ESTREMOZ

Ricardo Braga (1)

(1) Escola Superior Agrária de Elvas, Instituto Politécnico de Portalegre, ricardo_braga@esaelvas.pt

3.1. Introdução

A actuação que tem suscitado maior interesse em viticultura de precisão é a segmentação espacial da vindima em que, conhecendo previamente mapas de qualidade da uva, se definem lotes de qualidade distinta que posteriormente são vindimados separadamente para que se possa tirar partido do diferencial de qualidade na adega. Em função dos objectivos de qualidade estabelecidos, é implementada uma vindima diferenciada no espaço permitindo a obtenção de lotes de uvas de qualidade distinta dentro da mesma parcela/casta.

Alternativamente, a segmentação pode ser efectuada apenas no tempo ou combinada no espaço e no tempo. A segmentação no tempo diz respeito, por exemplo, a uma primeira vindima manual em que se colhem as uvas “premium” resultantes de cachos mais expostos, mais pequenos ou de zonas de solos mais arenosos ou de topo, acompanhada de uma segunda vindima mecânica em que se colhem as restantes uvas.

A combinação de segmentação espaço-tempo resulta, por exemplo, da diferenciação espacial de lotes na mesma parcela/casta, procedendo-se à vindima de um dos lotes numa determinada data em que a qualidade é a desejada e, posteriormente (e.g. 3 semanas mais tarde), à vindima do ou dos outro(s) lote(s). As combinações são múltiplas sendo “apenas” essencial que o viticultor defina os seus objectivos em termos de qualidade da uva na vinha e disponha de informação para actuar de forma tecnicamente correcta.

As causas da variabilidade espacial da qualidade da uva são variadas indo desde a variabilidade espacial do solo, topografia e manejo (poda, tratamentos

fitossanitários, etc.) até ao simples facto de a quantidade de uva também variar espacialmente (binómio quantidade/qualidade).

A disponibilidade de informação relativa à pré-vindima, i.e., a monitorização da pré-vindima, de forma economicamente viável e em tempo útil é a questão mais delicada a enfrentar. É já algo comum a monitorização de índices de maturação da uva por parte das adegas cooperativas ou mesmo de viticultores individuais no sentido de melhor definir a data de vindima (°Brix/Grau Álcool provável, pH, Acidez, Antocianas totais, Fenóis). Contudo, essa monitorização não é geo-referenciada e o grau de resolução é, em geral, baixo (uma, duas ou três amostras por parcela/casta). Assim, o que se propõe é a geo-referenciação das amostras (para construção dos mapas) e o aumento da sua intensidade (3/4 por ha de parcela/casta) sempre que os factores envolventes à cultura como o solo, declive ou exposição solar assim o justifiquem.

A resolução espacial óptima é função do custo de amostragem, do custo das análises, do valor do produto final diferenciado e do grau de variabilidade espacial encontrada. No caso dos métodos clássicos, o custo de amostragem e de análise são bastantes elevados devendo optar-se por baixas resoluções com o conseqüente comprometimento dos benefícios potenciais.

Alternativamente ao método clássico existe a possibilidade de efectuar a monitorização por intermédio de detecção remota. De facto, a detecção remota tem potencial para tornar a monitorização da pré-vindima mais barata. Ao relacionar a informação obtida por um sensor espectral (com resoluções desde os 4 pontos por ha até 1 por m²) com os índices de maturação da uva através de equações pré-estabelecidas, permite-nos obter mapas dos índices de uma forma bastante expedita. Contudo, o custo da informação proveniente de detecção remota é elevado (satélites, sensores em aviões, etc.).

A Figura 7 pretende ilustrar o conceito de vindima segmentada. Na abcissa deste diagrama está representado o tempo em número de anos/campanhas. Na ordenada está representada a variabilidade espacial da qualidade das uvas. Deste modo, cada distribuição normal representa na vertical a variabilidade espacial total encontrada em cada ano. Finalmente temos ainda representado o limiar de qualidade desejada, que na realidade é multi-paramétrico.

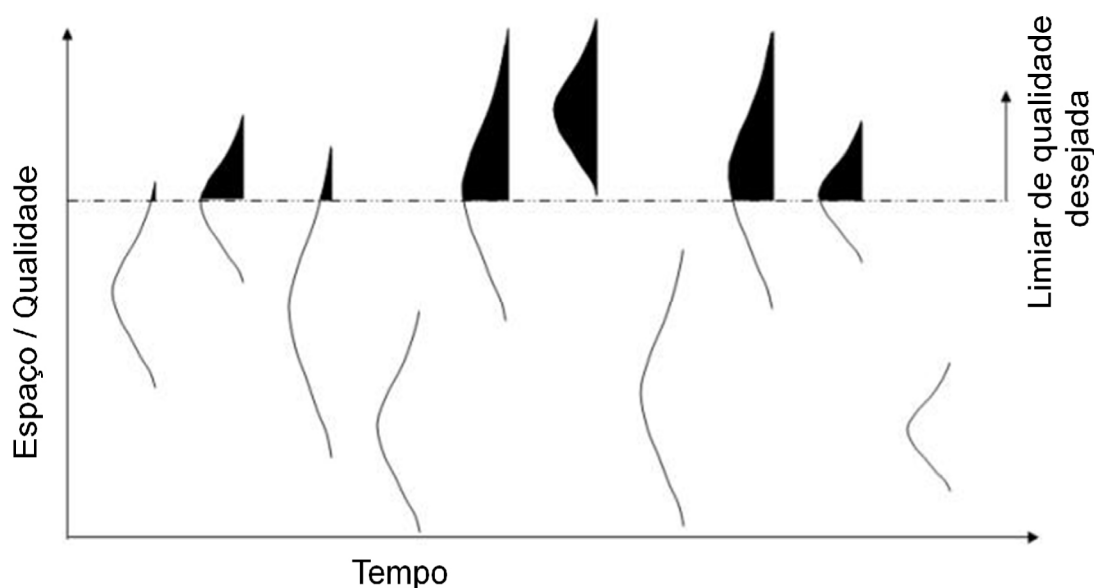


Figura 7 – Diagrama de ilustração do conceito de vindima segmentada

Há campanhas em que a variabilidade espacial é maior que noutras. Assim como há campanhas em que toda a área de vinha atinge o limiar de qualidade desejada e outras em que esse limiar nunca é atingido. Há ainda campanhas, a maioria, em que apenas uma parte da área de vinha atinge o limiar de qualidade desejada. Ora o desafio é precisamente saber em tempo útil e de forma economicamente viável onde se encontra a área de vinha com uvas acima do limiar de qualidade desejada para garantir que essas uvas constituem um lote “premium” e que são vinificadas separadamente.

Na Figura 7 cada distribuição normal representa uma campanha. Porém, a operação de vindima não é instantânea. Na realidade ela pode chegar a demorar 4 a 5 semanas em função de uma diversidade de factores como sejam questões logísticas da adega, evolução da maturação, mão-de-obra disponível, etc. Deste modo, há que considerar esta dinâmica espaço-temporal da evolução da maturação. A Figura 8 pretende ilustrar esse efeito para uma determinada parcela em que apenas se representa, por um lado, a fase de “qualidade crescente” e, por outro, assume-se que no ponto de máxima qualidade, toda a área da parcela atinge o limiar de qualidade definido.

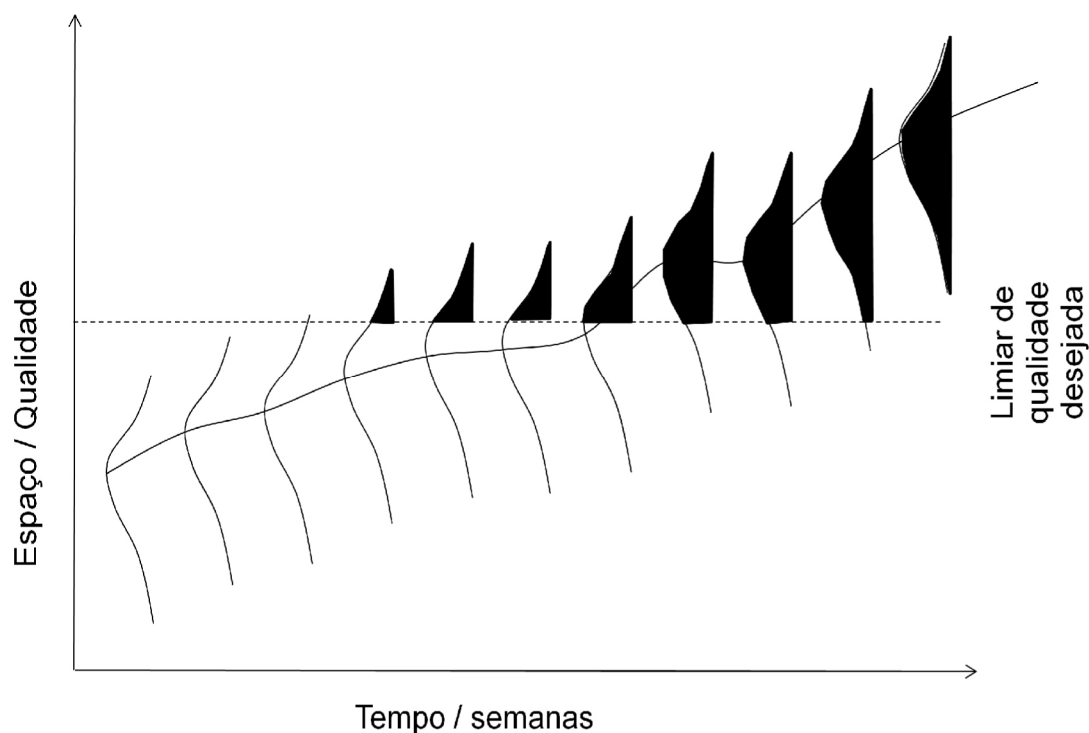


Figura 8 – Diagrama de ilustração da qualidade das uvas ao longo da vindima e respectiva variabilidade espacial

Deste modo, e assumindo que a variabilidade espacial da qualidade das uvas se mantém constante ao longo do processo de maturação, pode considerar-se que a dimensão e localização da área com uvas acima do limiar de qualidade desejada varia no tempo. Este fenómeno adiciona um grau de dificuldade na segmentação da vindima no sentido em que torna necessária alguma rapidez entre a fase de diagnóstico e a vindima. De outro modo, o risco de identificar uma área da parcela como “premium” e mais tarde durante a vindima tal já não ser verdadeiro, é elevado.

Os diagramas das Figuras 7 e 8 apesar de serem apenas genéricos e ilustrativos permitem definir uma série de requisitos para que a metodologia da segmentação da vindima se operacionalize.

3.2. Metodologia

A vindima segmentada foi implementada numa exploração vitivinícola do Alentejo: Encostas de Estremoz, Quinta da Esperança, Estremoz

(www.encostasdeestremoz.com). Esta exploração dispõe de uma área de vinha de cerca de 100 ha, com cerca de 10 anos, em dois pólos: Quinta da Esperança, Estremoz (Figura 9) e Herdade da Revenduda, Fronteira. As principais castas cultivadas são Touriga Franca, Tinta Barroca, Alicante *Bouschet*, *Cabernet Sauvignon*, Trincadeira, Touriga Nacional e Aragonês (Figura 10).

A exploração dispõe de adega própria com moderna tecnologia de vinificação em cubas de inox com temperatura controlada.



Figura 9 – Aspecto da vinha pertencente à empresa Encostas de Estremoz, onde decorrem os ensaios de vindima segmentada

A área de experimentação total foi de 12,9 ha das castas: Aragonês - 3,5 ha, *Cabernet Sauvignon* - 3,1 ha e Touriga Nacional - 6,3 ha (Figura 11). A escolha destas castas foi resultado das indicações tanto do enólogo responsável como do empresário, com base naquilo que tinha sido a experiência passada do comportamento das castas, os planos de produção e as apostas futuras em termos de qualidade de vinhos.

Nas parcelas escolhidas, a densidade de plantas é de 3086 plantas/ha num compasso de 2,8 x 1,2 m. A vinha é conduzida em cordão simples com poda a um gomo, é regada e com enrelvamento da entrelinha.

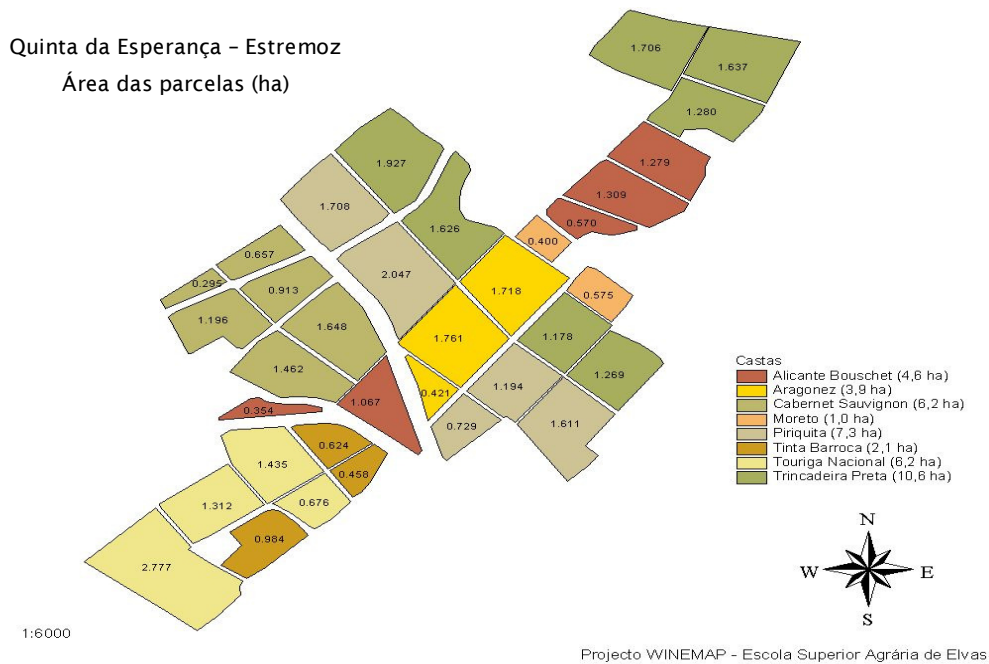


Figura 10 - Carta das parcelas e castas da Quinta da Esperança, Estremoz



Figura 11 - Localização das parcelas em estudo

A maturação das uvas foi monitorizada em diversos pontos das parcelas escolhidos ao acaso com uma densidade média de cerca de 10 pontos/ha. Desta forma, por exemplo, para o caso da Touriga Nacional (Figura 12) foram monitorizados 53 pontos no total dos 6,3 ha. Os pontos de amostragem foram geo-referenciados com recurso a GPS de alta precisão. Os resultados apresentados em detalhe serão relativos à parcela de Touriga Nacional em 2006. Resultados idênticos foram encontrados para as castas Aragonês e *Cabernet Sauvignon* quer no ano de 2006 quer 2007.

A monitorização da maturação incidiu em 4 datas (última semana de Julho, segunda semana de Agosto, última semana de Agosto e primeira semana de Setembro) durante as campanhas de 2005, 2006 e 2007. As datas foram definidas, por um lado, com base na data de vindima média histórica (primeira semana de Setembro) e, por outro, para proporcionar uma eficaz monitorização de todo o processo de maturação.

Os parâmetros analisados foram: acidez total, pH e brix/grau álcool provável. Para isso, em cada um dos pontos/datas foram recolhidas amostras de 200 bagos escolhidos em diferentes cepas, em cachos com diferentes exposições e tamanhos, diferentes posicionamentos nos cachos. Os 200 bagos foram transportados para o laboratório em condições de temperatura controlada. Dos 200 bagos foi feito mosto que serviu de base a cada uma das determinações. A acidez total foi avaliada por titulação com solução de NaOH 0,1N (azul de bromotimol) em meq/l. O pH foi avaliado por um potenciómetro à temperatura de 20°C. Finalmente, os açúcares solúveis totais foram avaliados com um refractómetro digital e expresso em (°Brix) (g de açúcares solúveis em 100 g de mosto).

Com os dados da monitorização da maturação foram construídos gráficos espaço-temporais da evolução dos diversos parâmetros assim como mapas dos diversos parâmetros para cada uma das datas. Estes mapas foram obtidos por integração num sistema de informação geográfica de todos os dados obtidos utilizado a krigagem como método de extrapolação espacial. O software de base utilizado foi o ESRI Arcview e o ArcGIS com as respectivas extensões.

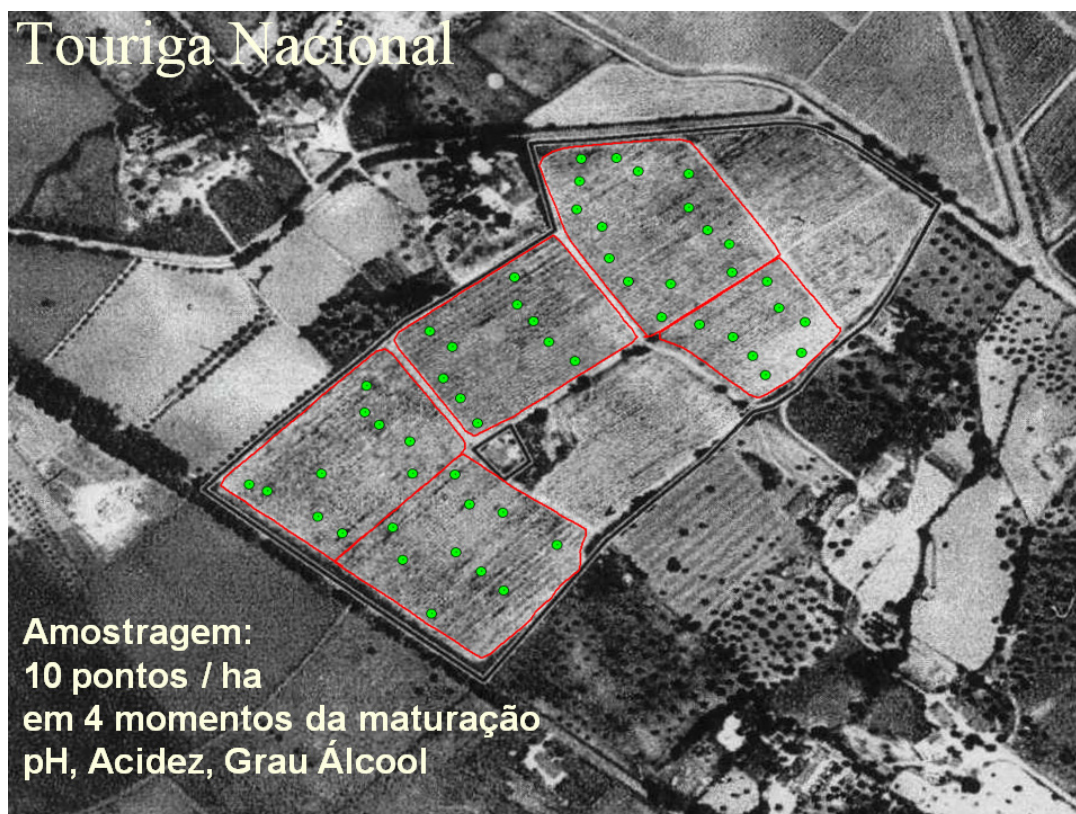


Figura 12 – Pontos de amostragem para controlo de maturação na casta Touriga Nacional

Com os mapas dos diversos parâmetros para a última data de avaliação, e com base nos critérios qualitativos definidos pelo enólogo responsável da empresa, procedeu-se ao estabelecimento dos lotes na vinha. Assim, foi considerado lote “premium” o conjunto das zonas das parcelas em que as uvas à data de vindima apresentavam simultaneamente os seguintes valores para os parâmetros de maturação: pH entre 3,2 e 3,6; grau álcool entre 12,5 e 14,5 e acidez total entre 4 e 5 g/l ácido tartárico.

A operação de localização espacial das zonas “premium” foi igualmente executada com os softwares ESRI Arcview e o ArcGIS com as respectivas extensões. Foram vindimados manualmente cerca de 1000 kg de uvas nas zonas “premium” e fora das zonas “premium”. Os mostos provenientes dos dois lotes foram fermentados em cubas de 1000 l (Figura 13). O controlo das fermentações foi levado a cabo pelo enólogo da empresa. Os vinhos resultantes dos dois lotes foram degustados por um painel de provadores da empresa e analisados quimicamente.

Finalmente, e no sentido de perceber a origem da possível variabilidade encontrada foram obtidos os seguintes dados espaciais: *Normalized difference vegetation index* NDVI; Condutividade eléctrica aparente do solo; mapa de solos; dados topográficos. O NDVI foi obtido comercialmente por fotografia aérea. O mapa da condutividade aparente do solo foi obtido comercialmente através de um sensor EM38. Os dados topográficos foram obtidos por levantamento com GPS RTK.

Estes dados, e em especial o NDVI, além de permitirem perceber a origem da possível variabilidade encontrada, permitem testar metodologias expeditas, rápidas e pouco onerosas para a obtenção de mapas de qualidade das uvas antes da vindima.



Figura 13 – Cubas de fermentação com temperatura controlada (esquerda) e "sempre cheias" (direita) utilizadas para vinificar os dois lotes em estudo

3.3. Resultados e discussão

As Figuras 14 a 16 apresentam a evolução temporal do pH, do grau álcool provável e da acidez das uvas em 2006 para todos os pontos de amostragem da parcela de 6,3 ha da casta Touriga Nacional. É notória a elevada variabilidade existente entre os diferentes pontos, correspondendo a variabilidade espacial. De facto, numa área relativamente pequena, padrões de maturação das uvas podem surgir de forma relativamente clara.

Verifica-se que além da elevada variabilidade espacial encontrada, a sua magnitude variou ao longo da maturação em função do parâmetro de maturação analisado. Assim, enquanto em relação ao pH do mosto verificou-se um aumento da variabilidade espacial durante a maturação (amplitude total de 0,42 unidades de pH para 0,7 unidades, i.e., quase o dobro) em relação à acidez total houve uma clara diminuição da variabilidade espacial (amplitude total de 27,0 g/l para 2,1, i.e., mais de 10 vezes menos). A variabilidade espacial relativa ao grau álcool manteve-se quase constante ao longo da maturação.

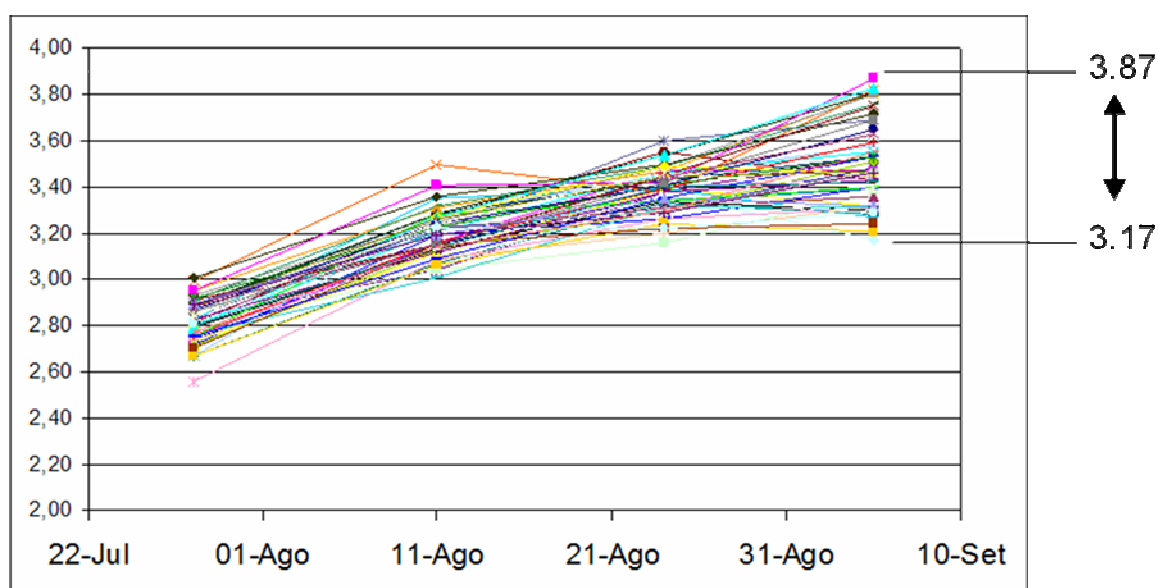


Figura 14 – Evolução temporal do pH das uvas em 2006 em que cada linha representa um ponto de amostragem

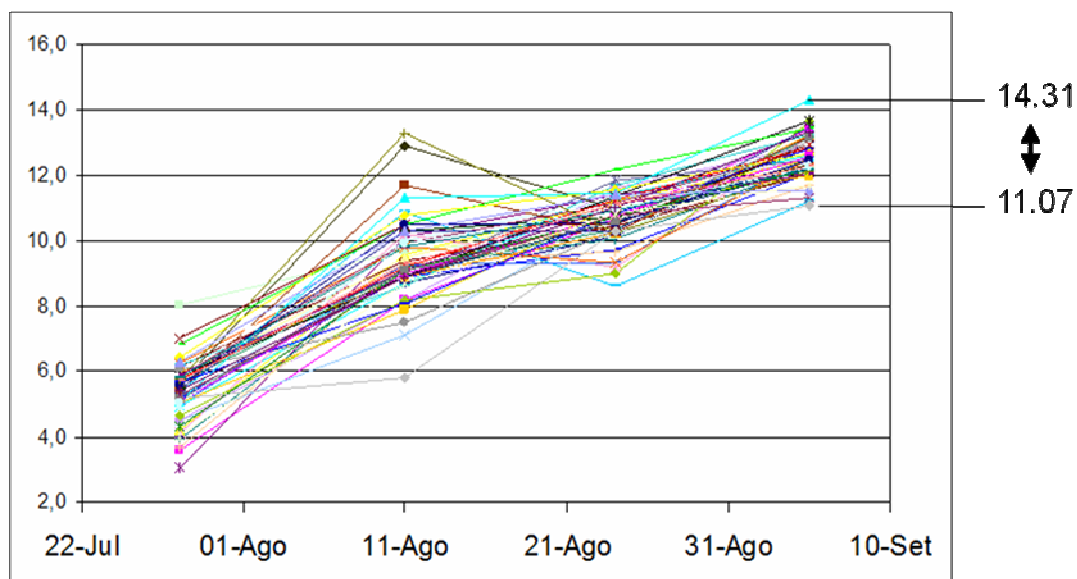


Figura 15 - Evolução temporal do grau álcool provável (°) das uvas em 2006 em que cada linha representa um ponto de amostragem

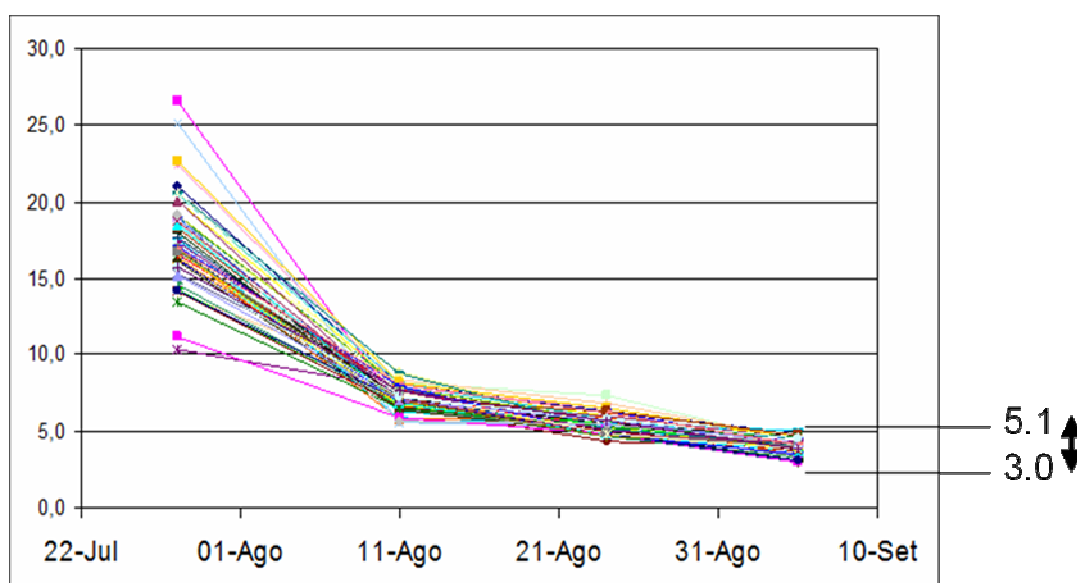


Figura 16 - Evolução temporal da acidez total (g/l ac. tart.) das uvas em 2006 em que cada linha representa um ponto de amostragem

As Figuras 17 a 19 apresentam os mapas finais (antes da vindima) do pH, do grau álcool provável e da acidez das uvas em 2006 para a parcela de 6,3 ha da casta Touriga Nacional. Estes mapas permitem verificar a segregação espacial de zonas diferenciadas quanto a valores dos três parâmetros. É de referir que quanto à acidez o mapa surge mais homogêneo sugerindo uma menor variabilidade deste parâmetro. Na realidade isso fica a dever-se às classes de variação dos valores utilizada. De facto, uma vez que se pretendia utilizar as mesmas classes de variação para todas as datas, e uma vez que a acidez total é o parâmetro que mais varia em termos absolutos ao longo da maturação, a visibilidade da variabilidade espacial na última data foi sacrificada.

As variações espaciais encontradas nestes 6,3 ha são bastantes significativas em termos qualitativos de produção de vinhos.

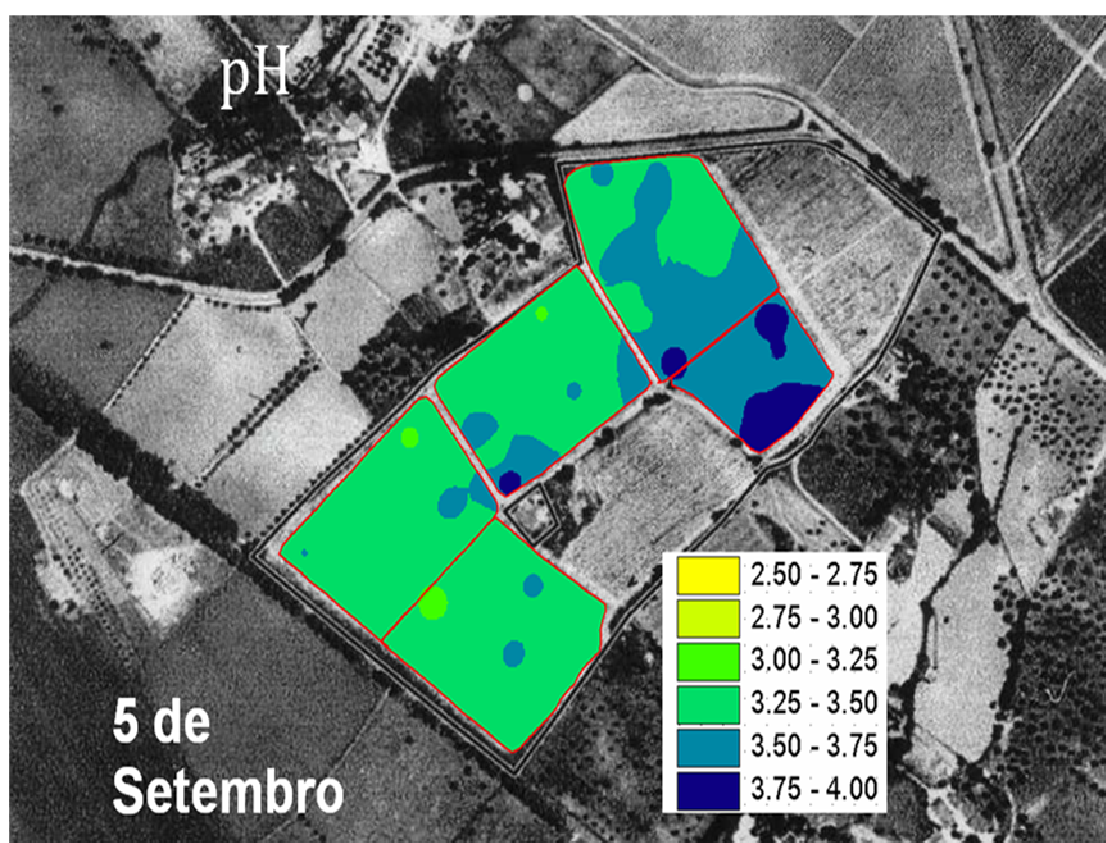


Figura 17 – Mapa de pH do mosto a 5 de Setembro (antes da vindima)

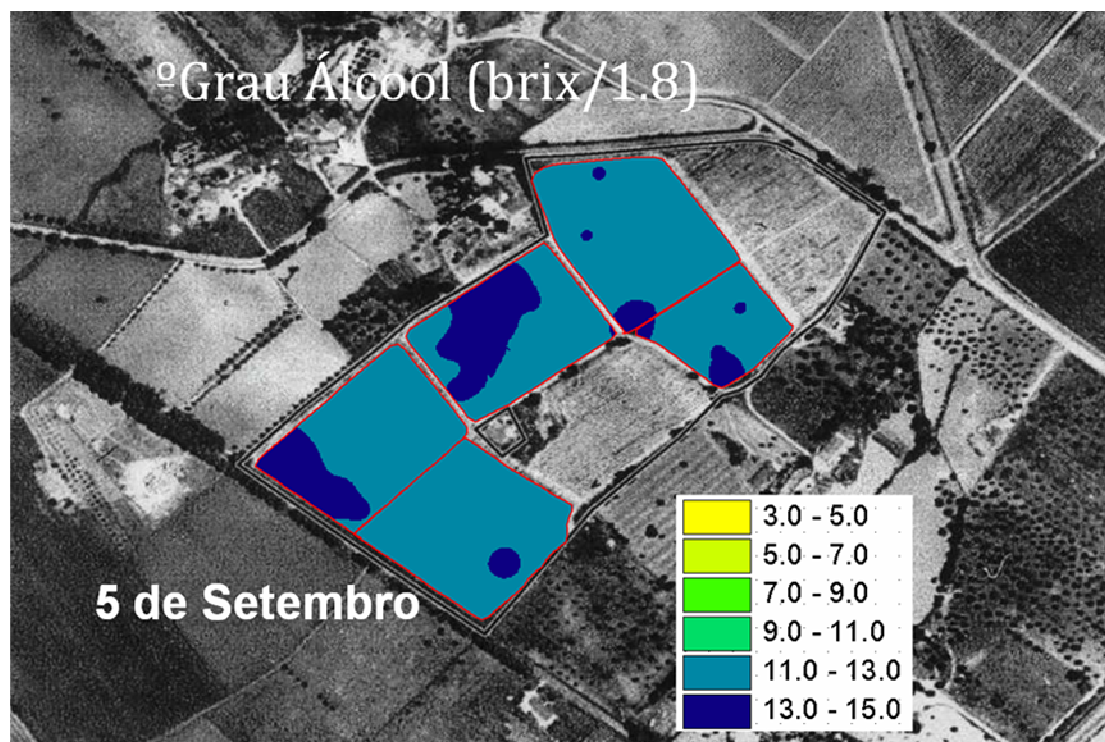


Figura 18 – Mapa de grau álcool do mosto a 5 de Setembro (antes da vindima)

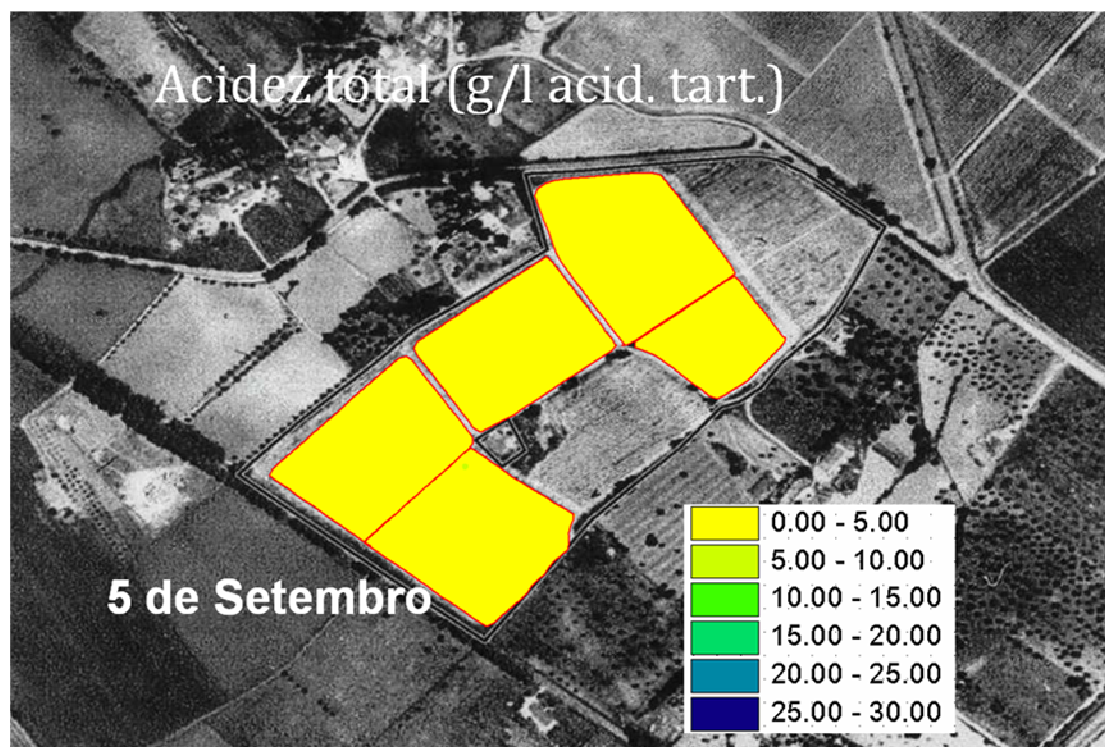


Figura 19 – Mapa de acidez total do mosto a 5 de Setembro (antes da vindima)

As Figuras 20 a 22 apresentam os mapas dos três parâmetros utilizados para as 4 datas de amostragem. Essencialmente estes mapas adicionam a componente espacial aos gráficos apresentados nas Figuras 14 a 16.

Novamente é para o parâmetro pH que se distingue um padrão espacial mais marcado, com a zona norte da parcela a apresentar sistematicamente valores de pH mais elevados mais cedo. Isto indica que nesta zona a maturação é claramente mais precoce do que em relação à zona mais a sul da parcela. Mais adiante tentar-se-á relacionar esta informação com outras variáveis no sentido de encontrar a razão por detrás do fenómeno.

pH – Evolução da maturação

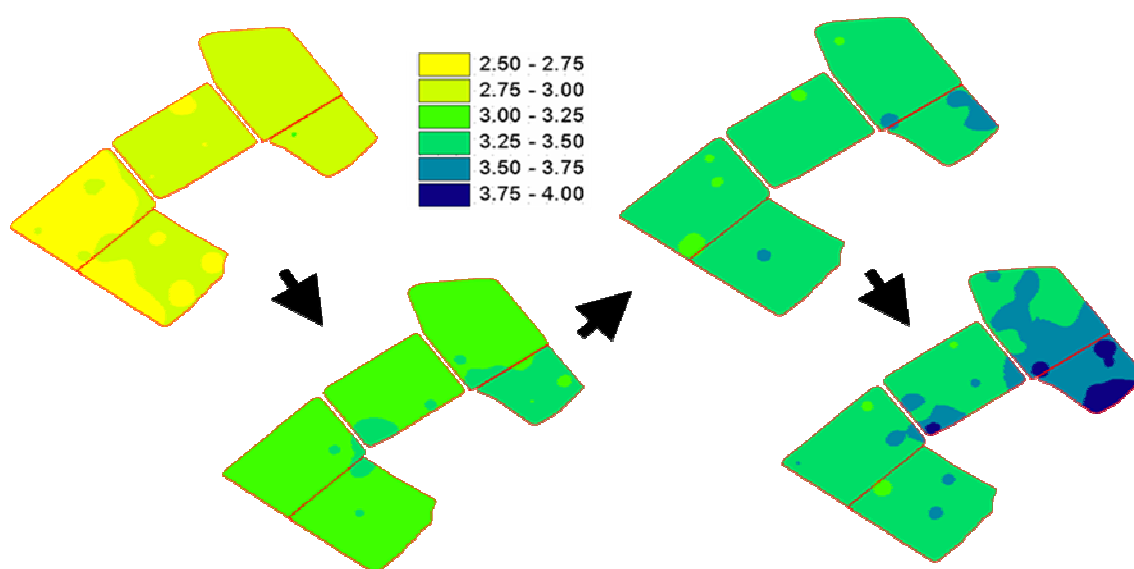


Figura 20 – Evolução temporal dos mapas de pH do mosto em 4 momentos (última semana de Julho, segunda semana de Agosto, última semana de Agosto e primeira semana de Setembro)

°Grau Álcool – Evolução da maturação

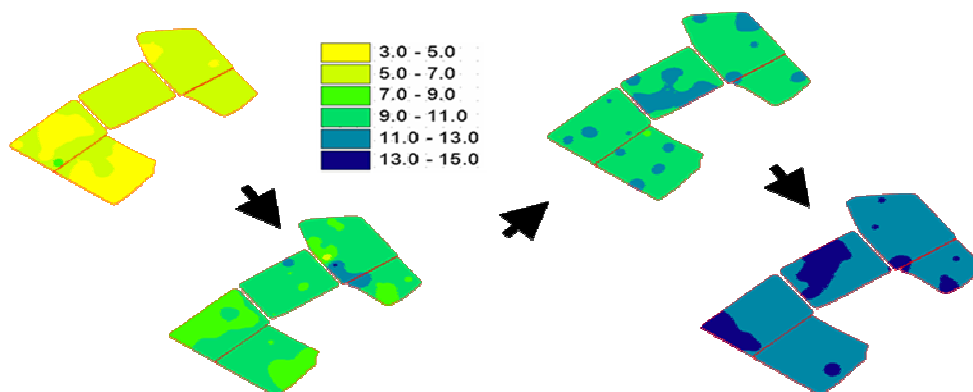


Figura 21 – Evolução temporal dos mapas de grau álcool do mosto em 4 momentos (última semana de Julho, segunda semana de Agosto, última semana de Agosto e primeira semana de Setembro)

Acidez – Evolução da maturação

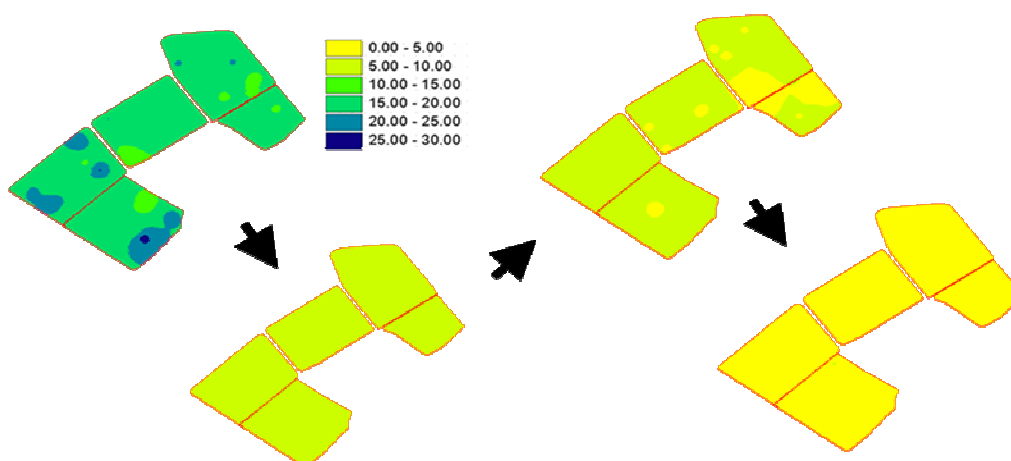


Figura 22 – Evolução temporal dos mapas de pH do mosto em 4 momentos (última semana de Julho, segunda semana de Agosto, última semana de Agosto e primeira semana de Setembro)

A Figura 23 apresenta os mapas com as áreas que satisfazem os valores requeridos para cada parâmetro correspondente ao lote “premium”. Verifica-se que o pH é o parâmetro menos restritivo em termos de área ao passo que para o grau álcool provável grande parte da área ainda não tinha atingido valores dentro do intervalo requerido. Também para a acidez, uma parte significativa da área já tinha nesta data menor acidez do que a desejável para um lote “premium”.

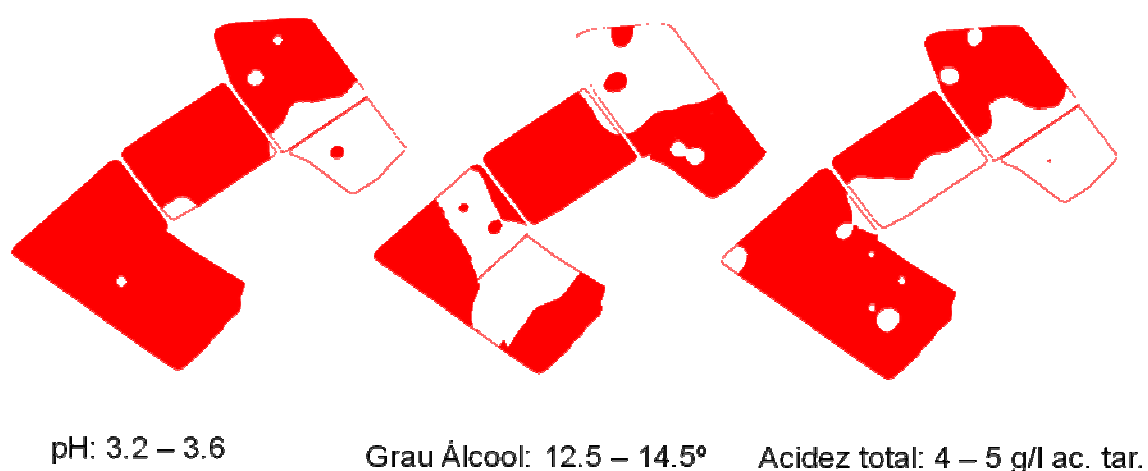


Figura 23 – Localização das áreas que satisfazem os valores requeridos para cada parâmetro (a vermelho) correspondente ao lote “premium”

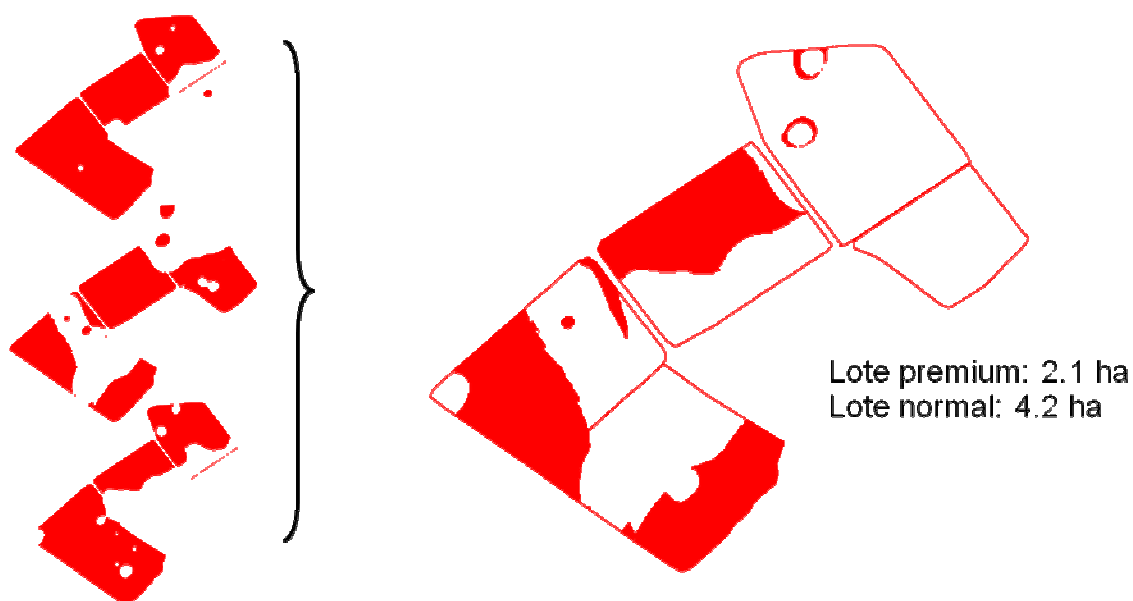


Figura 24 – Intercepção espacial das áreas que satisfazem os valores requeridos para cada parâmetro (a vermelho) de forma a localizar as áreas correspondentes ao lote “premium”

A intercepção espacial das áreas que satisfazem os valores requeridos para cada parâmetro resulta na identificação das zonas da parcela correspondentes ao lote “premium”, i.e., zonas em que todos os parâmetros qualitativos identificados pelo enólogo são satisfeitos no dia correspondente à amostragem (Figura 24). Destas zonas foram seleccionadas áreas onde se procedeu à vindima manual e respectiva micro-vinificação, tanto do lote “premium” como do lote de controlo.

Os vinhos resultantes dos lotes “premium” e de controlo foram apreciados distintamente pelo painel de provadores em ambos os anos, tendo o lote “premium” apresentado uma qualidade “superior”, i.e., foram atingidos classificadores mais perto do vinho topo de gama pretendido pela empresa. Na análise química registaram-se diferenças no grau álcool de 0,7° e na acidez total de 0,8 g/l.



Figura 25 - Localização das áreas em que foram colhidas as uvas correspondentes aos dois lotes: a azul escuro - lote "premium"; a azul claro - lote "normal"

Na tentativa de relacionar a localização das zonas de qualidade de uvas diferenciada, consistente em ambos os anos de estudo, com factores que lhes possam estar na origem, apresentam-se nas Figuras. 26 e 27 os mapas das variáveis NDVI à floração, condutividade eléctrica aparente do solo e altimetria. A justificação para esta análise é, por um lado, perceber o mecanismo subjacente à formação de zonas de qualidade diferenciada e, por outro, a possibilidade de por analogia identificar outras zonas de potencial idêntico noutras parcelas. Esta possibilidade permitiria em termos tecnológicos uma enorme poupança de recursos.

NDVI - Floração

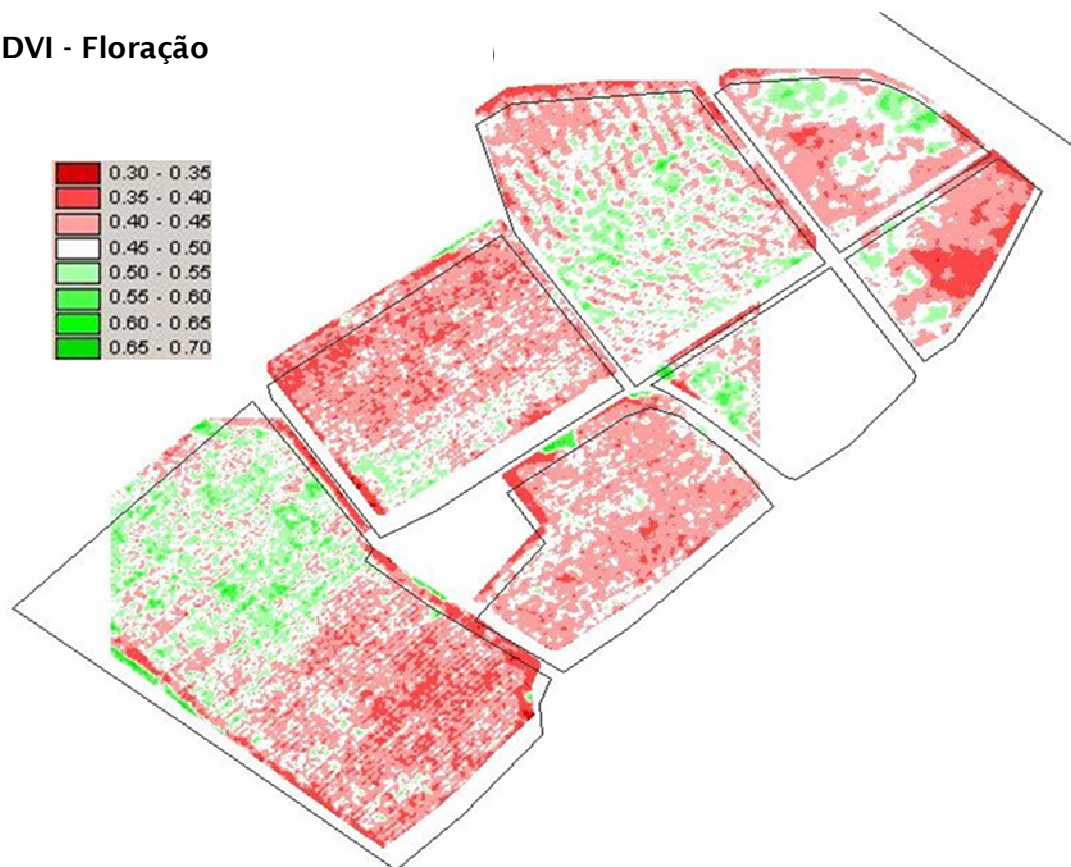


Figura 26 – Mapa de *Normalized difference vegetation index* à floração para a parcela em estudo

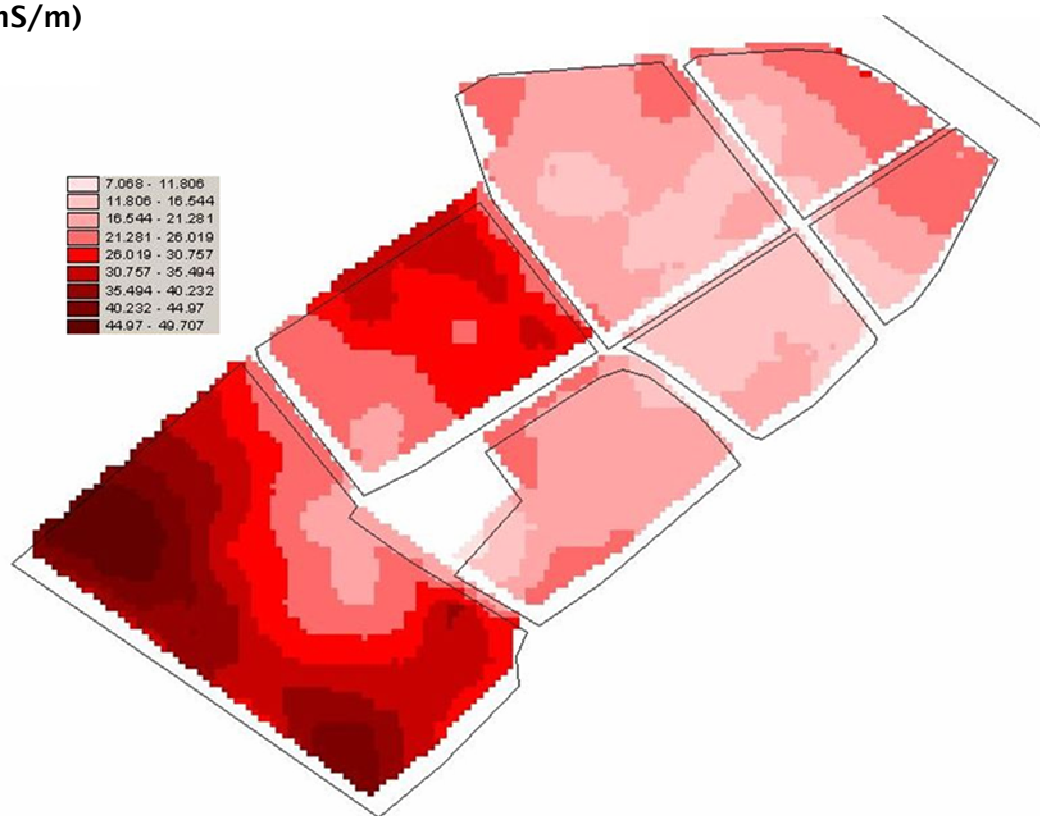
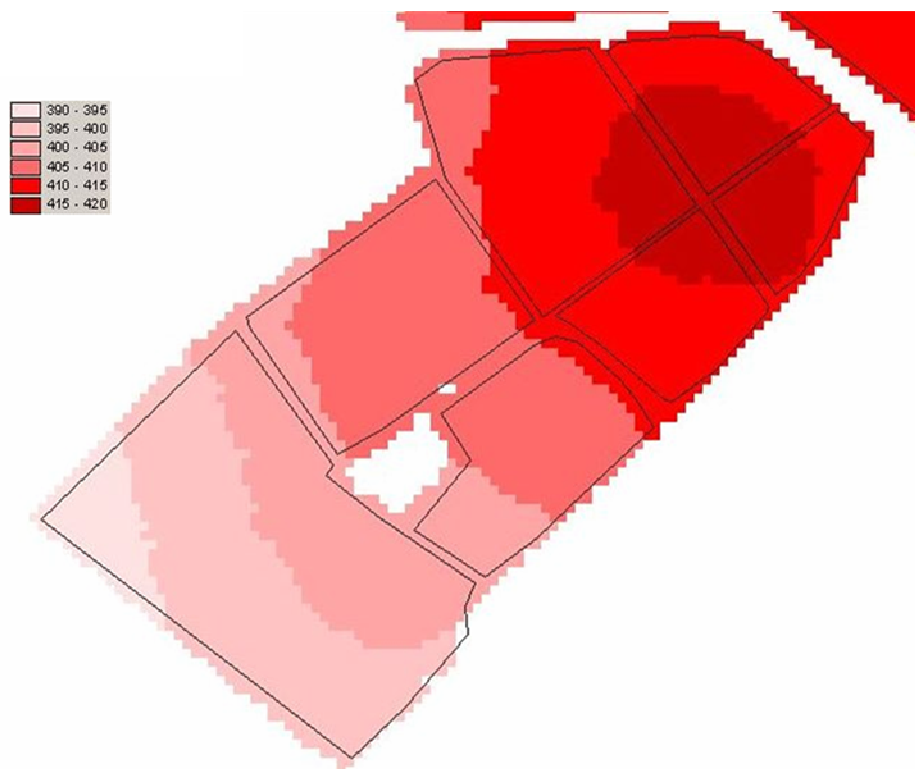
Condutividade Eléctrica EM38**(mS/m)**

Figura 27 – Mapa de condutividade eléctrica aparente do solo para a parcela em estudo

No caso concreto do NDVI há um interesse adicional em tentar relacioná-lo com as zonas de qualidade diferenciada encontradas. Esse interesse prende-se com a validação de metodologias mais expeditas de localização destas zonas. Em termos operacionais a metodologia seguida neste projecto, i.e., com amostragem e mapeamento dos parâmetros, torna-se inviável se se pensar na sua utilização em larga escala sob forma de serviço comercial. Deste modo, é necessário validar outras metodologias mais expeditas, como a obtenção de mapas de NDVI, pelo estabelecimento de relações lineares ou não entre este e os parâmetros qualitativos do mosto.

Por outro lado, é também relevante avaliar até que ponto os padrões de qualidade das uvas estão relacionados com aspectos mais estruturais das parcelas de vinha e não com variáveis mais temporalmente dinâmicas.

Altimetria (m)**Figura 28** – Mapa de altimetria para a parcela em estudo

Caso os padrões espaciais de qualidade das uvas estejam mais relacionados com aspectos mais estruturais das parcelas de vinha como sejam o mapa de solo, a topografia, ou o sistema de rega, i.e., tenham como origem aspectos mais estáticos ou em que não é possível actuar em termos de gestão durante a campanha, então as implicações serão de outra índole. De facto, se se mantiver um padrão espacial de qualidade de ano para ano, deixar-se-á de pensar em serviços prestados ao vitivinicultor em todas as campanhas. Neste cenário será estabelecido um padrão espacial de qualidade das uvas uma vez e, a menos que algum aspecto de gestão se alterar, esse padrão deverá manter-se ano após ano.

No caso particular no local de estudo confirma-se uma relação entre as zonas identificadas na Figura 25. De facto, as zonas identificadas com zonas de qualidade “premium” correspondem ambas a zonas com NDVI mais baixo (entre 0,3 e 0,45), i.e., zonas com um menor vigor das plantas à data de observação. Porém, a relação não é linear. Há zonas identificadas com zonas

“premium” (zona a cinza claro em SW na Figura 25) que apresentam valores de NDVI na ordem 0,5 a 0,6. Este resultado exprime a elevada complexidade na relação entre vigor da planta, quantidade de vegetação e qualidade das uvas obtidas, tal como extensamente referida na literatura. Este resultado realça a importância e necessidade de confirmar sempre as observações efectuadas remotamente com observações no terreno.

Quando as zonas identificadas com “premium” (Figura 25) são confrontadas com os mapas, quer de altimétrica quer de condutividade eléctrica aparente do solo, verifica-se que estas surgem nas zonas de menor altitude, correspondentes a solos com maior profundidade e maior teor de argila, i.e., maior condutividade eléctrica (30 - 50 mS/m). As zonas com maior altitude e menor condutividade eléctrica do solo (menor que 20 mS/m) são zonas com pedregosidade bastante elevada (superfície do solo totalmente coberta com pedras) e que na data de avaliação da maturação as uvas já tinham ultrapassado o limite de qualidade pré-estabelecido, designadamente em relação ao pH e acidez do mosto.

NDVI - Floração

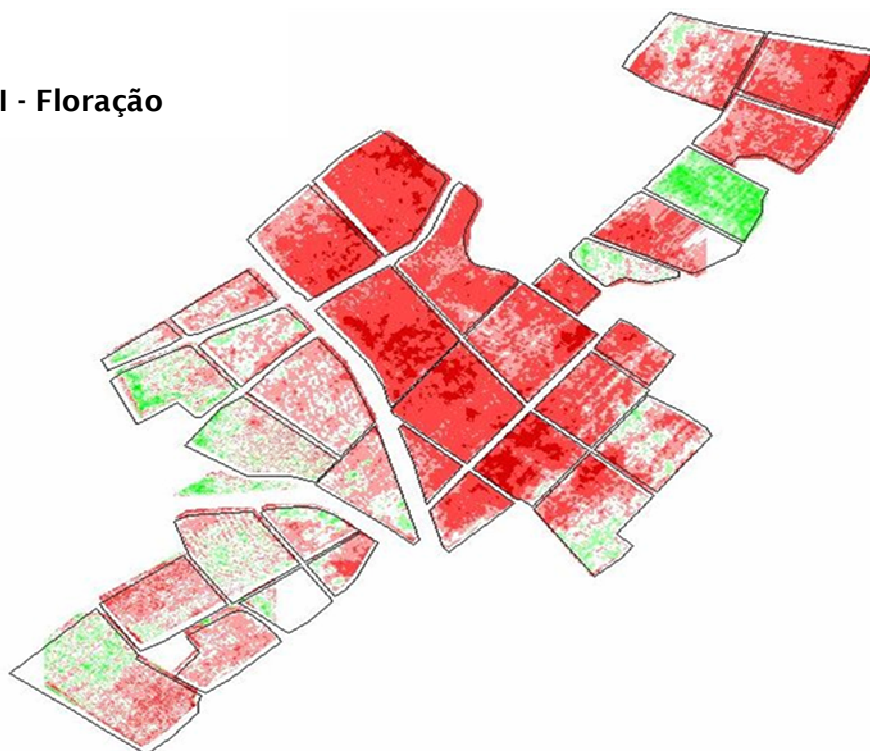


Figura 29 – Mapa de *Normalized difference vegetation index* à floração para o conjunto das parcelas da Quinta da Esperança

Condutividade Eléctrica EM38

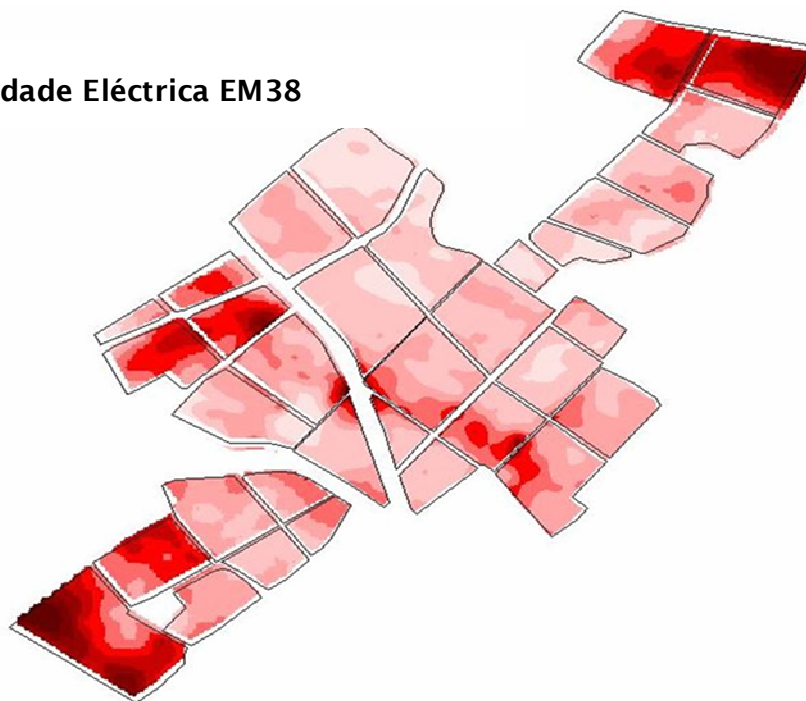


Figura 30 – Mapa de condutividade eléctrica aparente do solo para o conjunto das parcelas da Quinta da Esperança

Altimetria

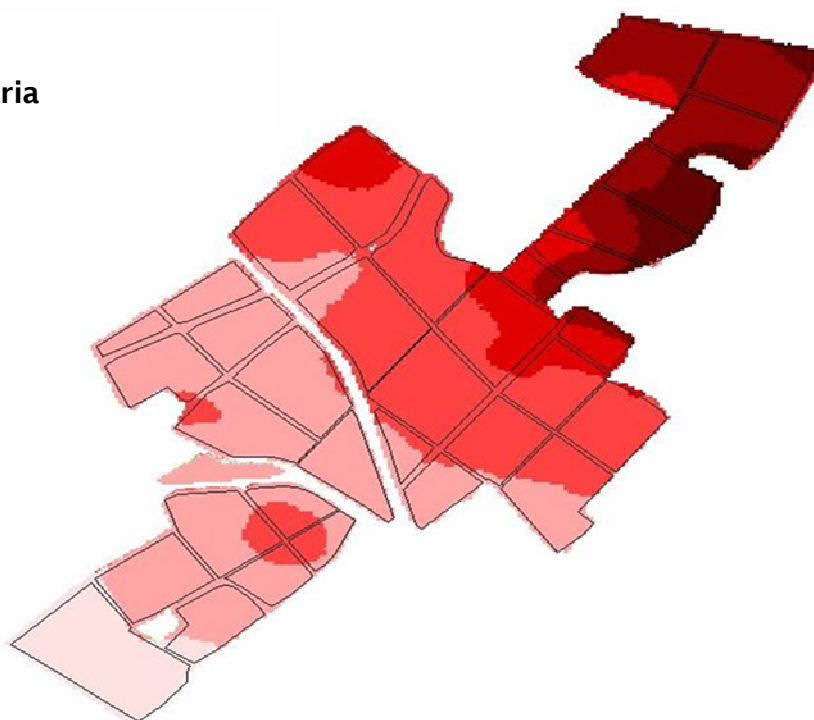


Figura 31 – Mapa de altimetria para o conjunto das parcelas da Quinta da Esperança

Orientação do declive

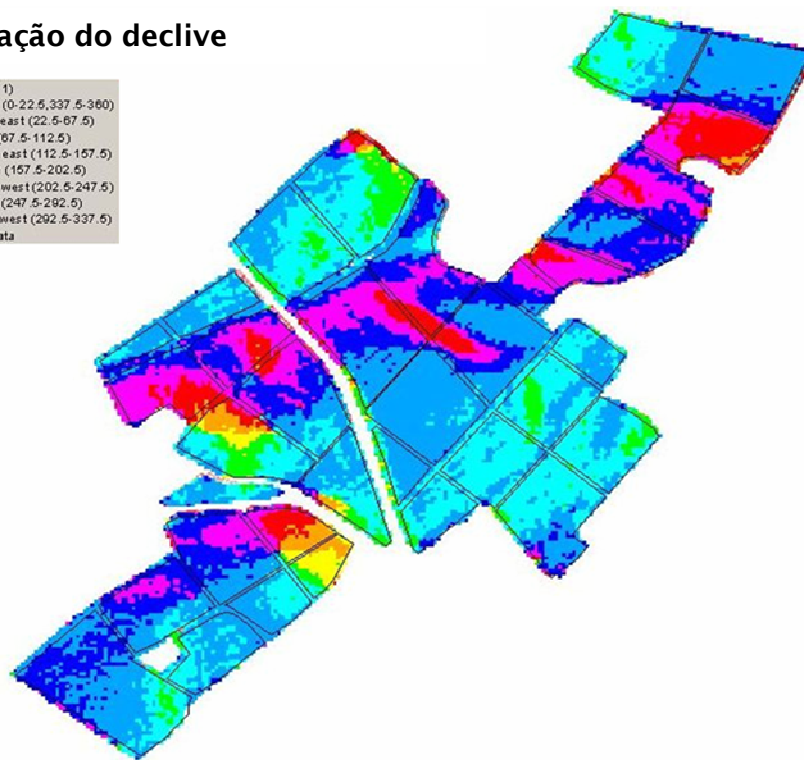
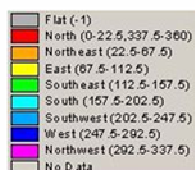


Figura 32 – Mapa de orientação do declive para o conjunto das parcelas da Quinta da Esperança

Acumulação de escoamento



Figura 33 – Mapa do fluxo acumulado de escoamento das parcelas da Quinta da Esperança

Radiação solar global anual

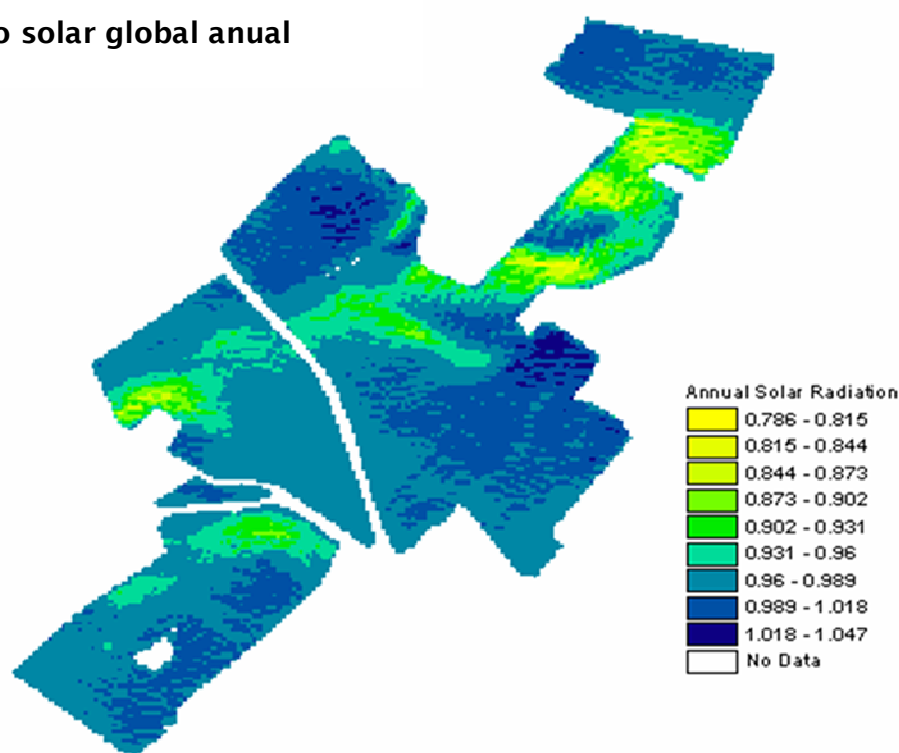


Figura 34 – Mapa de radiação solar global anual das parcelas da Quinta da Esperança

As Figuras 29 a 34 apresentam o mesmo tipo de dados para toda a exploração, dando uma noção da variabilidade espacial que é possível encontrar na área. Considerando que nesta área se verificam variações de casta e até de sistema de condução torna-se limitado tentar relacionar ou inferir o potencial de qualidade de cada zona por analogia. Com este propósito, seria necessário alargar o espectro de análise do projecto para as castas e sistemas de condução respectivos, o que cairia fora do âmbito do projecto.

3.4. Conclusões

Demonstrou-se o potencial de aplicação de informação geo-referenciada na identificação pré-vindima de lotes de qualidade de uvas diferenciada. É de extrema importância a obtenção de mapas de NDVI, condutividade eléctrica do solo e altimetria para este intuito. É possível identificar zonas com uvas de qualidade distinta antes da vindima e deste modo constituir lotes a vindimar separadamente.

3.5. Referências

- Bramley, R.G.V.** 2001. Progress in the development of precision viticulture - Variation in yield, quality and soil properties in contrasting Australian vineyards. In: Currie, L.D. and Loganathan, P (Eds).
- Conceição, L.A., J.P. Mendes, R.P. Braga, S. Dias e F. Mondragão-Rodrigues.** (2003). Precision Viticulture in Portugal: The beginning of a process. Proceedings da "4th. European Conference on Precision Agriculture". Berlim, Alemanha. 15-19 Julho.
- Fernandez-Cano, L.H. & J.H. Tagores** (2001). Ingenieria Y mecanizacion viticola. Ediciones Mundi-Prensa. 711p.
- Johnson *et al*** (1998). Of pixels and palates: Can geospatial Technologies help produce a better wine? Proc, 1st Int'l Conf. Geospatial Information in Agriculture & Forestry, Lake Buena Vista FL, 1-3 June.
- Johnson *et al*** (2001) Remote sensing of vineyard management zone: Implications for wine quality. Appl Eng in Agric. 17: 517.
- Lamb, D.W. & Bramley, R.G.V.** (2001). "Innovations and technology - managing and monitoring spatial variability in vineyard productivity", Nat.Res.Management. Australian Association of Natural Resource Management, 4 (1): 25-30.
- Lamb, D.W.** (sd). http://www.une.edu.au/Physics/staff/david/david_lamb.html
- Peterson et al.** (2000). The application of earth science findings to the practical problems growing winegrapes. Geog. Info. Sc. 6: 181
- Smart, R.** (2001). http://www.revistadevinhos.iol.pt/rv_2conferencia_03.asp.

4. VITICULTURA DE PRECISÃO: UM CASO DE ESTUDO NA FUNDAÇÃO EUGÉNIO DE ALMEIDA, ÉVORA

José R. Marques da Silva (1), Adélia Sousa (1), Paulo Mesquita (1), Luís Leopoldo Silva (1), João Serrano (1), João Roma (1), Pedro Baptista (2), João Torres (2), Mariana Torres (2), Ana Simões (2), José Maria Terrón López (3), Daniel Becerra Traver (3), Francisco J. Moral Garcia (4), Custódio Alves (1), José Condeças (1)

(1) ICAAM, Departamento de Eng. Rural, Escola de Ciências e Tecnologia, Universidade de Évora.

(2) Fundação Eugénio de Almeida

(3) Centro de Investigación La Orden-Valdesequera, Junta de Extremadura

(4) Departamento. de Expresión Gráfica, Universidad de Extremadura

4.1. Introdução

O nível de maturação da uva é o principal factor, e um dos mais decisivos, na qualidade do vinho. O processo de maturação da uva é o resultado de um conjunto de complexos fenómenos fisiológicos e bioquímicos, cujo bom desenvolvimento e intensidade está intricadamente relacionado com as castas e com as condições ambientais tais como o solo e o clima. Este processo é amplamente influenciado por factores externos, tais como a disponibilidade de água, a luminosidade e o solo, o que se traduz numa grande heterogeneidade entre os bagos de talhões de uma mesma vinha e entre os bagos de cepas de um mesmo talhão (Ribéreau-Gayon, 2006). O acompanhamento da maturação é usualmente feito parcela a parcela, através da recolha de amostras de bagos de uva. As amostras são posteriormente transformadas em mosto onde são analisados parâmetros físico-químicos, representativos de cada parcela.

O presente estudo, acompanhou a maturação da uva na vinha do Monte do Casito, gerida pela Fundação Eugénio de Almeida durante os meses de Agosto e Setembro de 2008. O estudo incidiu sobre os talhões com as castas mais representativas da vinha (Aragonês, Trincadeira e Syrah), e de forma mais detalhada sobre um talhão, denominado por talhão 2, constituído pelas castas

Cabernet Sauvignon, *Tempranillo* e *Aragonês*. Foram acompanhados os parâmetros físico-químicos pH e álcool provável de cada amostra. Foram também recolhidas as assinaturas espectrais no intervalo 350-1300 nm de bagos de uva, mosto e folhas.

O termo assinatura espectral, está associado ao comportamento que determinado objecto tem face ao espectro electromagnético. A ciência que estuda estes aspectos é a detecção remota (DR), representando esta a tecnologia de recolha de informação sobre a superfície terrestre e atmosfera, utilizando sensores colocados em aviões, satélites ou plataformas. A Radiação Electromagnética (REM) é uma forma de energia que é transferida num certo período de tempo, de um ponto para o outro e representa em DR o correio de informação entre o sensor e o alvo de estudo (Navalgund *et al.*, 2007). Os sensores utilizados em DR podem ser passivos ou activos. Os sensores passivos detectam radiação natural, reflectida ou emitida pela superfície terrestre. Os sensores activos possuem a sua própria fonte de radiação.

O espectrorradiómetro portátil é um aparelho que permite a caracterização *in situ* da reflectância, radiância, irradiância e transmitância de superfícies naturais (Milton *et al.* 2007). Distingue-se dos demais aparelhos utilizados em detecção remota pela sua relativa mobilidade e pela menor distância entre o objecto de estudo e o sensor, que se traduz na medição de uma área muito mais pequena (Milton *et al.*, 2007). Neste estudo foi utilizado um espectrorradiómetro hiperespectral sensível nas bandas do visível e do infravermelho reflectivo e foram registadas as reflectâncias de bagos de uva intactos, mosto e folhas.

As assinaturas espectrais dos bagos de uva e mosto têm como potencialidade a avaliação de ingredientes de produtos orgânicos. Frutos como maçãs, cerejas, kiwis e pêssegos já foram estudados na região do infravermelho próximo. Liu *et al.* (2008) relacionou com sucesso as absorvâncias espectrais de peras intactas nas regiões do visível e infravermelho próximo com o seu conteúdo de sólidos solúveis. Em relação ao estudo da uva foram já efectuadas tentativas para determinar alguns parâmetros, utilizando dispositivos portáteis para recolher informação na região do infravermelho próximo do mosto de uva assim como em uvas intactas. Herrera *et al.* (2003), demonstrou ser possível

determinar o conteúdo de sólidos solúveis da uva com recurso à resposta espectral de uvas intactas.

As assinaturas espectrais da folha foram utilizadas como forma de caracterizar o estado fisiológico das plantas. O teor de clorofila relaciona-se directamente com o potencial fotossintético e, em última análise, com a produtividade da planta (Xue *et al.*, 2008). Como alternativa aos métodos de química analítica, que implicam a destruição da folha, têm vindo a ser desenvolvidos vários índices de vegetação que pretendem quantificar os teores de clorofila de forma precisa e não destrutiva. Os índices de vegetação baseiam-se sobretudo nas reflectâncias espectrais de copas ou folhas de uma planta. Gammon *et al.* (1997) demonstrou que o *photochemical reflectance index* (PRI) pode servir de indicador da actividade fotossintética entre espécies, tipos funcionais e condições de nutrição.

O objectivo central deste trabalho passou pela utilização de sensores remotos no estudo da variabilidade espacial e temporal da qualidade da uva, numa óptica de segmentação dessa qualidade, de forma a obter produtos finais distintos.

4.1.1. Área de estudo

A área de estudo é a vinha do Monte do Casito, gerida pela Fundação Eugénio de Almeida localizada nas proximidades da cidade de Évora. Na Figura 35 poderemos observar a carta da vinha onde constam os talhões e as diferentes castas existentes.

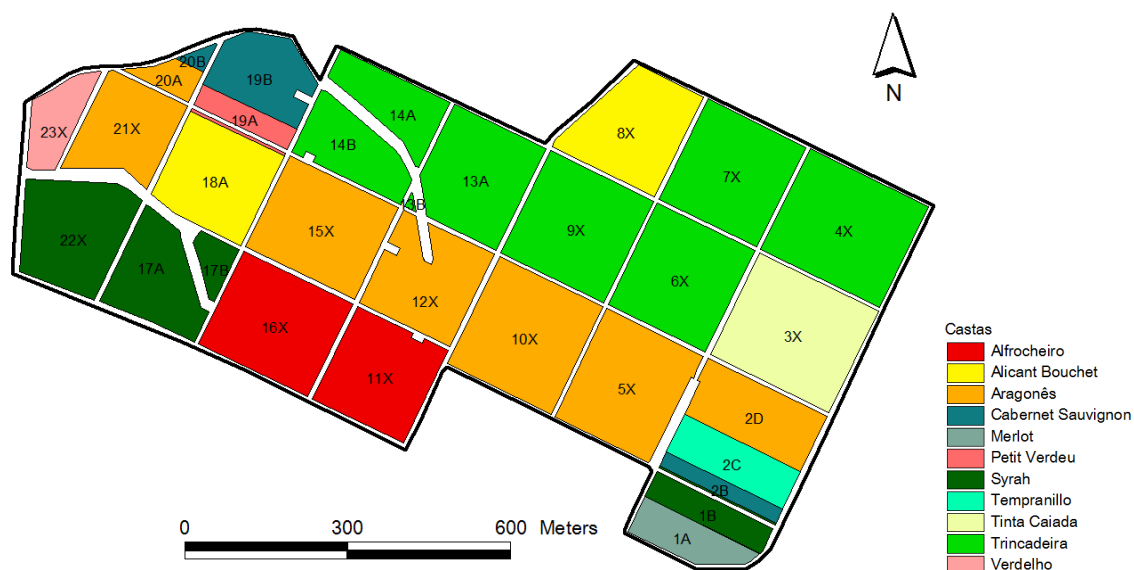


Figura 35 - Talhões e castas da vinha

Foi efectuada a caracterização da área de estudo com a realização de um levantamento topográfico de toda a vinha que foi a base para a criação da carta de altimetria (Figura 36) e da carta de declives (Figura 37). A partir da carta dos talhões podemos constatar que a mesma casta aparece em talhões diferentes e em situações topográficas diferentes. O relevo da vinha é pouco acidentado e situa-se entre as cotas 240m e 260m. Os pontos de cota mais elevada encontram-se na metade Este, zona a partir da qual o relevo decresce no sentido Oeste.

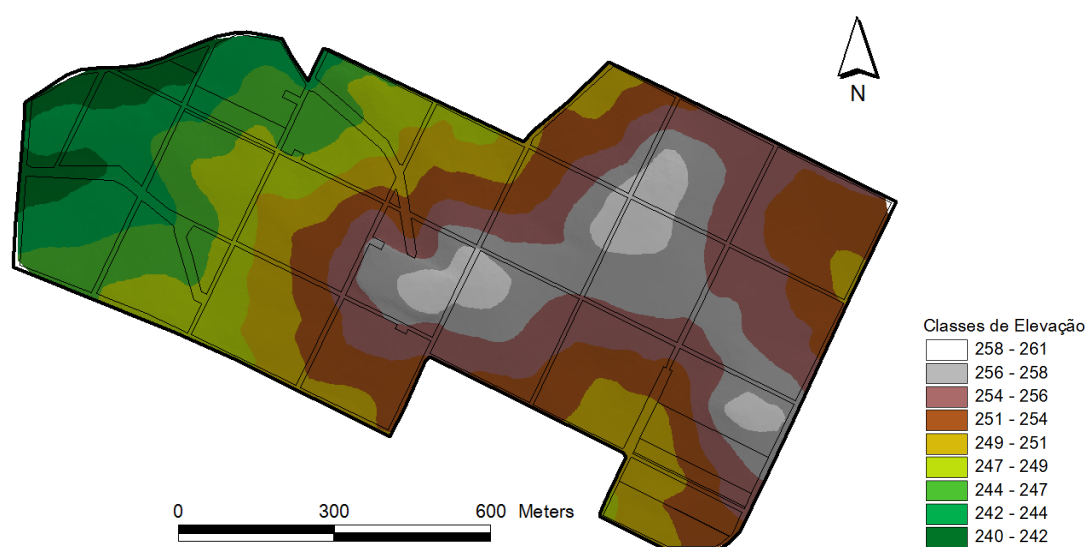


Figura 36 - Altimetria da área da vinha

A grande maioria dos declives presentes na vinha situa-se entre os 2 e os 5%. Os declives até 2% são a segunda categoria mais representada e localizam-se na sua maioria no quadrante Noroeste. A categoria de 5 a 10% ocorre em terceiro lugar e encontra-se sobretudo nos talhões 2, 8 e 12, próximo das localizações com cotas mais elevadas.

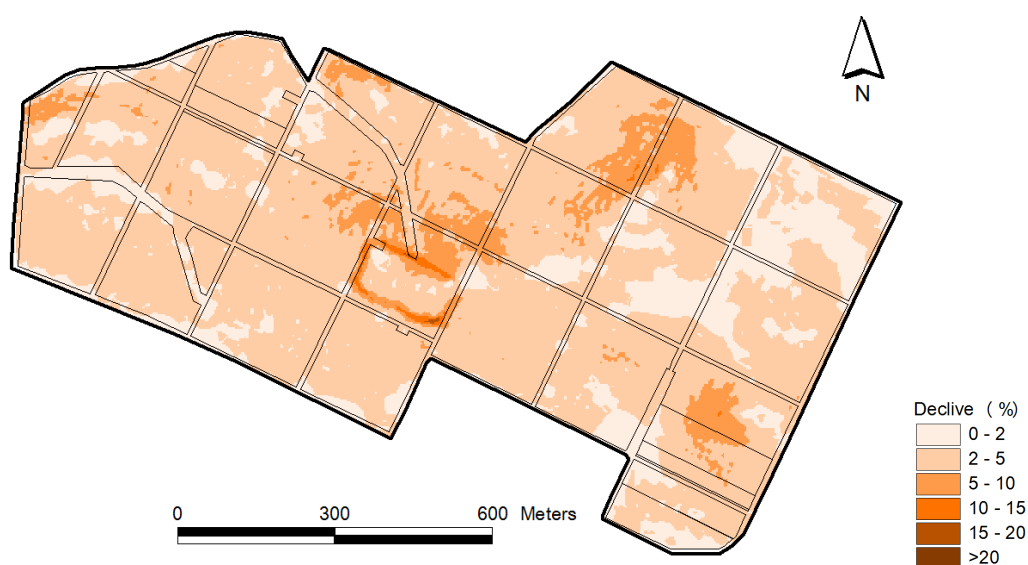


Figura 37 – Carta de Declives da área da vinha

Na Figura 38 encontramos o caso particular em que um mesmo talhão (Talhão 2) contém várias castas identificadas através das parcelas 2B, 2C e 2D, onde foram geo-referenciados 50 pontos de amostragem. Neste caso tentamos perceber se o talhão poderia ser tratado como uma unidade independente e homogênea.

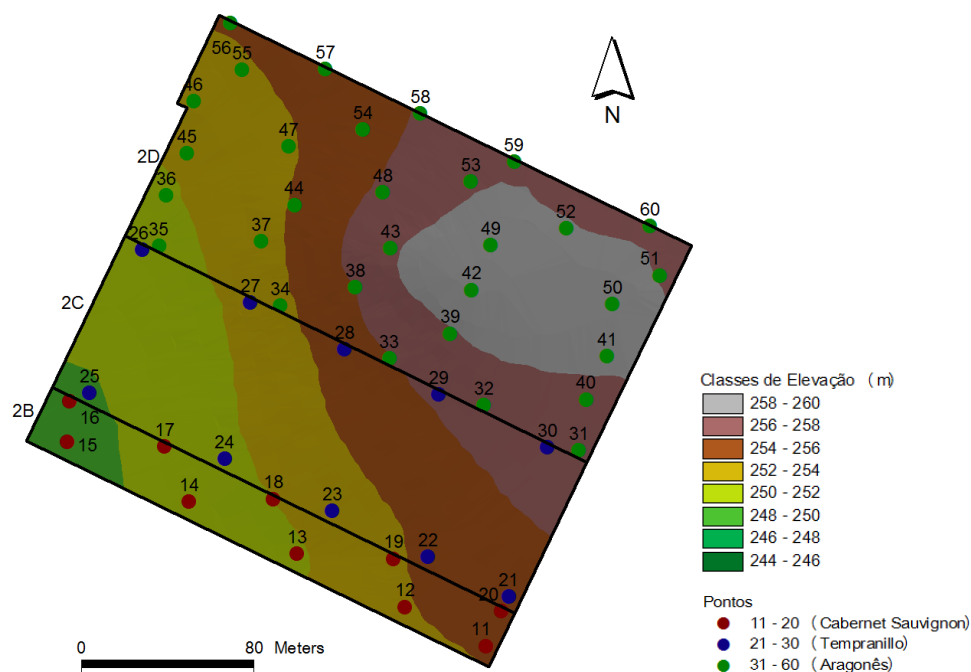


Figura 38 – Distribuição dos 50 pontos de amostragem nas parcelas 2B, 2C e 2D do talhão 2

4.1.2. Metodologia

Foram recolhidas, com uma periodicidade semanal, amostras em cada um dos talhões da vinha e em cada um dos 50 pontos do talhão 2. Posteriormente, em laboratório, foram determinados os parâmetros físico-químicos e as assinaturas espectrais dos bagos de uva intactos e respectivo mosto. A recolha das assinaturas espectrais das folhas foi realizada no campo, em cada um dos 50 pontos de amostragem do talhão 2. Para isso foi utilizado um suporte para o sensor denominado por *leaf-clip* (Figura 39) que apresenta características específicas para medições no campo. É constituído por uma mola, fonte de iluminação e base para calibração, ficando a folha presa entre a fonte de iluminação e a base, sem qualquer influência de fontes de luz externas. Como forma de caracterizar o estado fisiológico das plantas foi utilizado o índice PRI, através da formula $(R_{531} - R_{570}) / (R_{531} + R_{570})$ onde R_{531} e R_{570} representam, respectivamente, as reflectâncias para os comprimentos de onda 531nm e 570nm.



Figura 39 – Medição das reflectâncias de uma folha no campo (esquerda); Perfil do *Leaf-Clip* (direita)

A Figura 40 ilustra a montagem experimental utilizada no registo das assinaturas espectrais em laboratório. A Figura 41 representa a medição da assinatura espectral do mosto filtrado.



Figura 40 – Instalação para a medição das reflectâncias. (1) Espectroradiómetro; (2) Cabo de fibra óptica; (3) Sensor; (4) Placa de calibração; (5) Computador; (6) Fonte de iluminação (halogéneo - 75W)

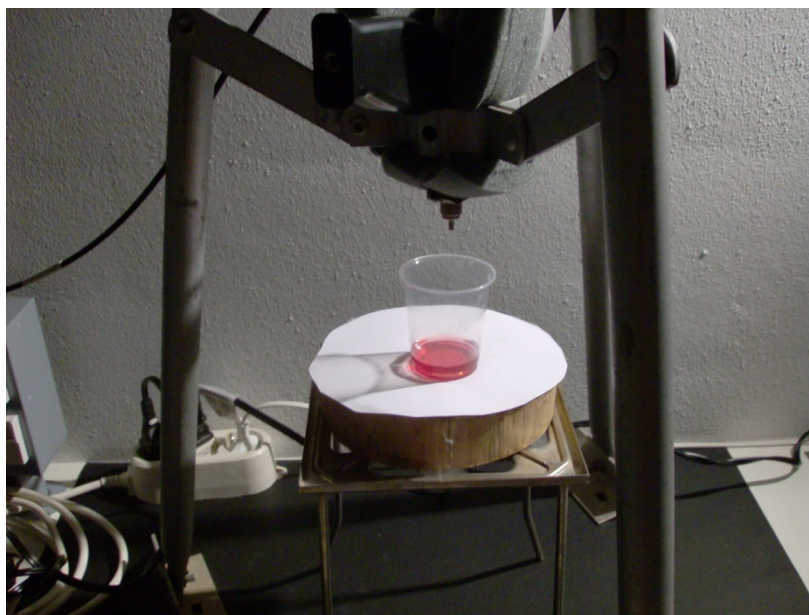


Figura 41 – Medição da reflectância do mosto filtrado em laboratório

As assinaturas espectrais dos bagos de uva e do mosto podem ter muitas potencialidades no que toca à caracterização expedita e rápida da qualidade de certos parâmetros, importantes na qualidade do vinho. Se através deste tipo de sensores e dos comprimentos de onda adequados, pudéssemos inferir parâmetros que permitissem fazer a segmentação da colheita, obteríamos com certeza diferentes tipos de vinhos e, conseqüentemente, diferentes tipos de valor associados aos mesmos. Estas técnicas têm sido utilizadas na avaliação de produtos orgânicos, nomeadamente nos sólidos solúveis de frutas e torna-se, por isso, premente experimentar as mesmas na vitivinicultura.

4.2. Assinaturas espectrais

4.2.1. Mosto

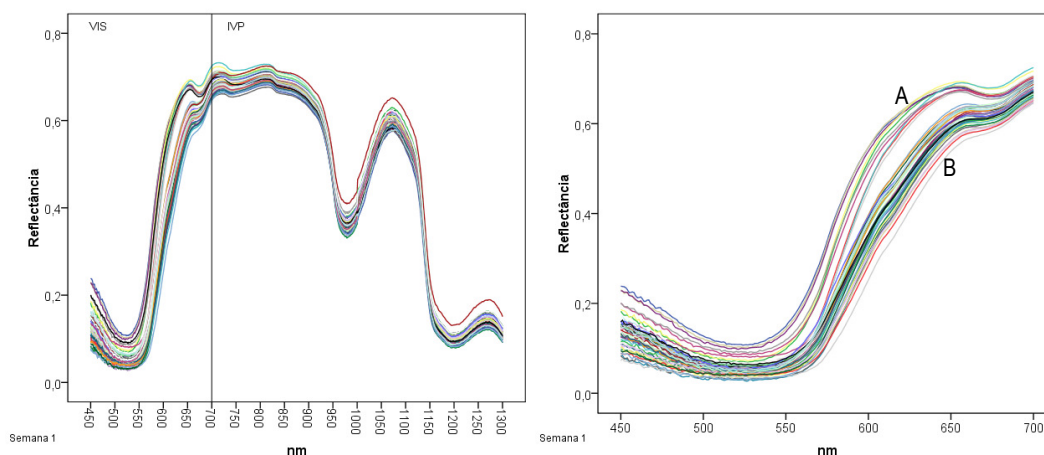


Figura 42 - Reflectâncias do mosto de 50 amostras do talhão 2 obtidas na primeira semana (esquerda); Detalhe para a região do visível (direita)

A Figura 42 ilustra as assinaturas espectrais do mosto de 50 amostras colhidas em cada um dos pontos do talhão 2 na primeira semana. De forma geral, todas as amostras apresentam um comportamento semelhante, no entanto, na região dos 580nm até aos 700nm, existe diferenciação entre dois grupos de amostras, onde um apresenta reflectâncias um pouco mais elevadas do que o outro. As amostras do grupo A correspondem à casta *Cabernet Sauvignon*, as do grupo B representam as castas *Aragonês* e *Tempranillo*. O facto de a diferenciação ocorrer na região do espectro correspondente ao vermelho revela que a capacidade de diferenciação das assinaturas espectrais se encontra directamente relacionada com a cor do mosto.

4.2.2. Folha

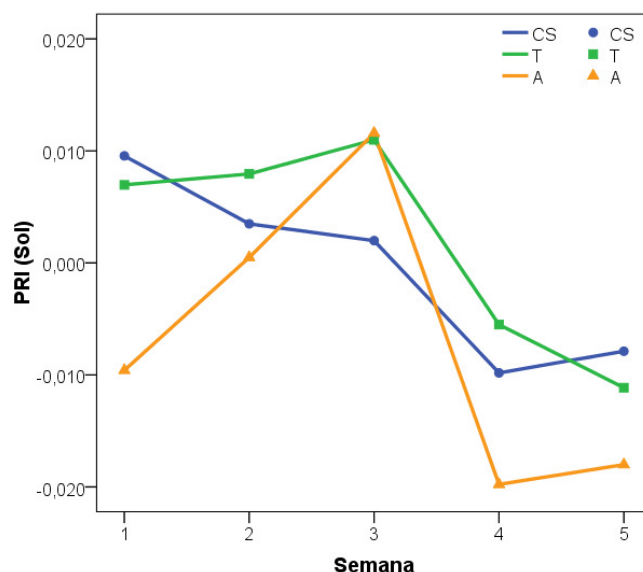


Figura 43 – Valores de PRI médios para cada casta ao longo do tempo (CS) *Cabernet Sauvignon*; (A) *Aragonês*; (T) *Tempranillo*

Como sabemos a cor do vinho é também um dos parâmetros importantes na definição da sua qualidade, como tal, temos aqui também a hipótese de explorar a possibilidade de diferenciar mostos pelas características da sua cor, de forma a obter vinhos com padrões de cor distintos.

A Figura 43 mostra a evolução dos valores do PRI ao longo do tempo para cada uma das três castas presentes no talhão 2. Na terceira semana, existe uma descida nos valores do PRI para as três castas; é possível que esta descida esteja relacionada com a interrupção da rega. A descida mais acentuada ocorre na casta *Aragonês*; as castas *Tempranillo* e *Cabernet Sauvignon* apresentam quebras semelhantes entre si, no entanto o PRI decresce mais para a casta *Tempranillo*. Apesar da disponibilidade de água poder estar relacionada com a diminuição dos valores de PRI a partir da terceira semana, é possível que esta esteja também relacionada com as diferenças observadas entre castas. Se o factor genético tivesse expressão nos valores de PRI obtidos, seria de esperar uma maior semelhança entre as castas *Aragonês* e *Tempranillo*, dado que esta última é um clone da primeira.

Estes índices de vegetação (PRI), poderão ter utilidade por exemplo na gestão

da rega, tentando perceber diferentes comportamentos vegetativos face à presença ou à ausência de humidade no solo e que implicações é que isso tem na qualidade do produto final.

4.3. Variabilidade entre talhões da mesma casta

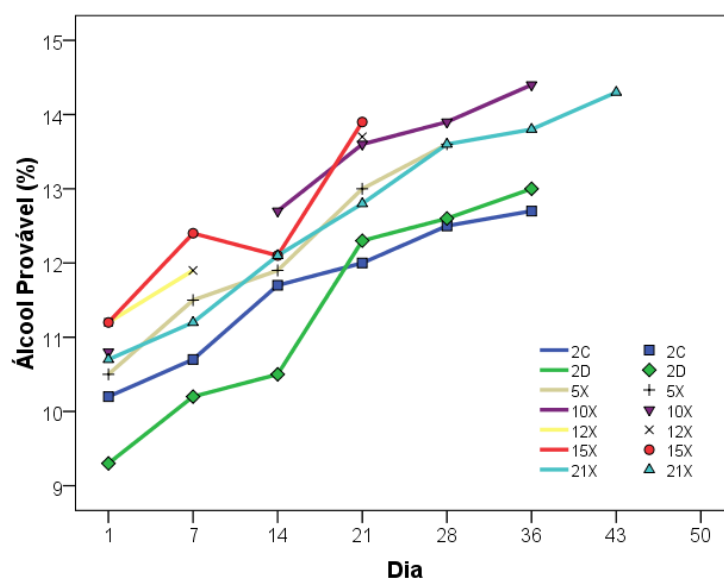


Figura 44 – Evolução dos valores de álcool provável ao longo do tempo para os talhões da casta Aragonês

A Figura 44, ilustra a evolução dos valores de álcool provável ao longo do tempo nos talhões da casta Aragonês. É perceptível a diferença entre talhões, sobretudo nos valores de partida, onde a diferença entre os talhões 2D e 15 ronda os 2%. O talhão 15 atinge também valores na ordem dos 14% de álcool provável ao fim de 21 dias quando a maioria dos restantes talhões, com mais 2 semanas de maturação, não o atinge. Será esta informação relevante para a gestão diferenciada? Tratar de forma diferente aquilo que é diferente? Este tipo de comportamento da mesma casta em diferentes talhões não merecerá uma reflexão séria sobre a oportunidade da rega, a oportunidade das operações culturais, a oportunidade da fertilização, etc? Obtemos da mesma casta produtos com características diferentes ao longo do tempo da campanha. Tal diferença deverá ou não ser aproveitada e potenciada?

A variabilidade temporal destes fenómenos só poderá ser analisada nas próximas campanhas. Caso a estabilidade temporal destes fenómenos seja elevada, teremos uma ferramenta de apoio à decisão muito útil; caso tal não se verifique, a tecnologia tem que evoluir para dar respostas em tempo real a este tipo de instabilidade temporal.

4.4. Variabilidade espacial (pH)

Foi efectuada uma análise geo-estatística à distribuição espacial da variável pH do mosto no talhão 2. Foram utilizados os valores da última semana de medição dado que estes representam o culminar do processo de maturação. A Tabela 4.1 contém os parâmetros do variograma ajustado, e a Figura 45 o mapa de pH para as parcelas 2C e 2D.

Tabela 1 – Parâmetros do variograma para a variável pH

Variável	Modelo	Efeito de Pepita (C0)	Patamar (C0 + C)	Alcance (a)	IDE (%)	R2
pH	Gaussiano	0,0020	0,0340	226,1	8	0,657

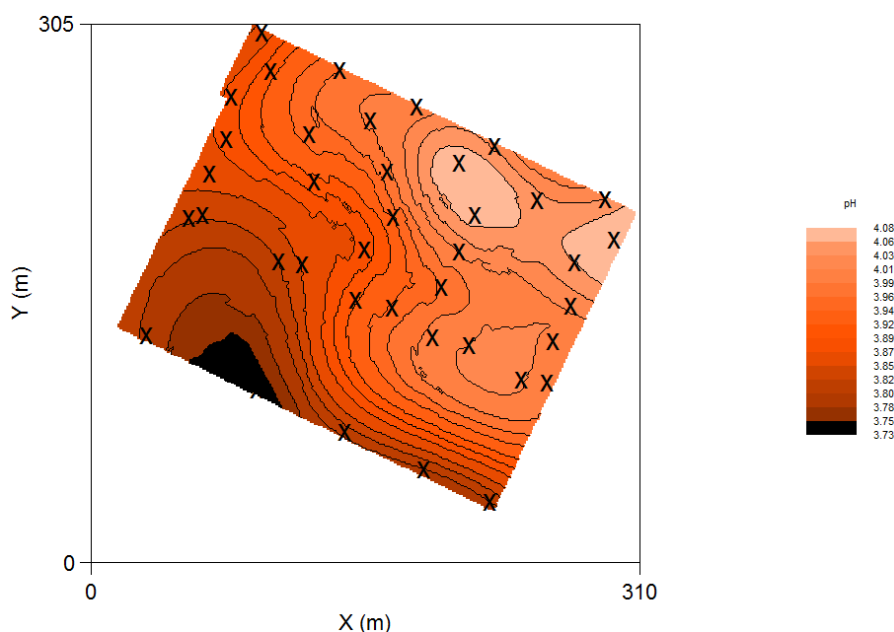


Figura 45 – Mapa da variável pH para as parcelas 2C e 2D, interpolado por krigagem normal

O índice de dependência espacial (IDE) de Cambardella *et al.* (1994) define a dependência espacial em função do efeito de pepita expresso em percentagem da semivariância total, através da fórmula $(C_0/C+C_0) \times 100$. Se o rácio for $\leq 25\%$ a variável é considerada com forte dependência espacial; se o rácio estiver entre 25% e 75% a variável é considerada com moderada dependência espacial e se o rácio for $\geq 75\%$ a variável é considerada com fraca dependência espacial.

Os resultados obtidos para a variável pH indicam um IDE de 8% que representa forte dependência espacial. Observando a Figura 45 é possível verificar que o quadrante Este do talhão apresenta valores de pH do mosto mais elevados; enquanto no quadrante Oeste se situam os valores mais baixos. Esta distribuição aparenta estar relacionada com a morfologia do talhão, ilustrada na Figura 38; aos maiores valores de pH correspondem as cotas mais elevadas. Analogamente, a menores cotas correspondem os valores mais baixos de pH. Este resultado indica que a variabilidade espacial pode mesmo ocorrer dentro de uma unidade de gestão, como tal, a instalação de uma vinha e a selecção das suas unidades de gestão são outros aspectos que os empresários deverão ter em conta na sua tomada de decisão.

Por vezes não são estes aspectos, mas sim outros, como a instalação do sistema de rega, que determinam a organização e delineamento das unidades de gestão.

4.5. Condutividade eléctrica

A condutividade eléctrica aparente de um solo (ECa) mede a capacidade de um solo em conduzir uma corrente eléctrica. Nas aplicações agronómicas, medir a ECa é particularmente útil para obter mapas de variações de propriedades intrínsecas de um solo como a profundidade do perfil, a textura, a presença de sais, a humidade do solo, etc. Em termos simplistas poderemos dizer que conseguimos obter um mapa das características intrínsecas do solo com um detalhe que não conseguimos encontrar na carta de solos portuguesa.

A ECa tem aplicações potenciais ao nível da Agricultura de Precisão, delimitando unidades homogéneas de tratamento ou produção, permitindo dessa forma ajudar o empresário agrícola na tomada de decisão aquando da

instalação de uma vinha ou aquando da gestão da sua parcela. A carta de classes de ECa permite ainda a realização de amostras de solo inteligentes, ou seja, permite direccionar a amostragem para classes homogéneas de ECa, conseguindo dessa forma conhecer melhor em termos espaciais a fertilidade da sua parcela. A Figura 46 apresenta a carta de condutividade eléctrica aparente da vinha do Casito, onde poderemos constatar a variabilidade deste parâmetro ao longo das diferentes parcelas e será a partir desta que direccionaremos a estratégia de amostragem de qualquer variável que tenha a ver com o solo.

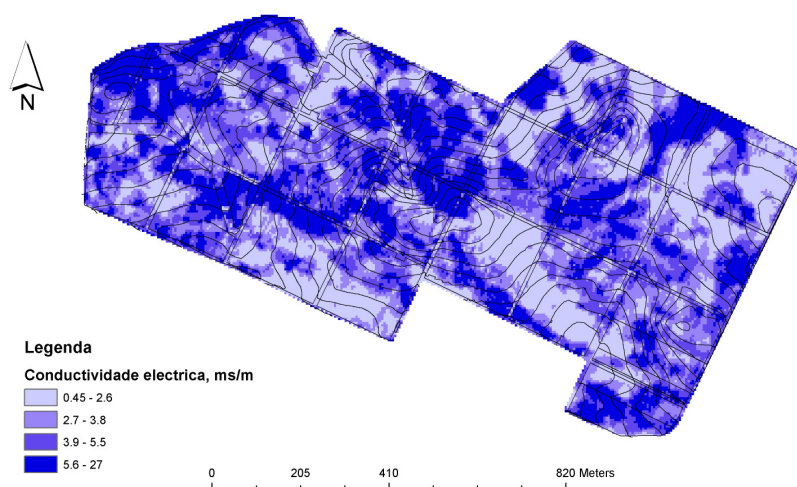


Figura 46 – Mapa da condutividade eléctrica aparente da vinha do casito

4.6. Conclusões

Num futuro, que se prevê recente, o uso da terra para fins meramente agrícolas deixará de estar associado a uma estrutura produtiva de base familiar e passará a estar associado a estruturas empresariais altamente profissionalizadas, onde o conhecimento e a base de dados que o empresário e os seus colaboradores conhecem se torna num factor fundamental para o sucesso e rentabilidade do sistema, bem como para a sua sustentabilidade. Conhecer e aproveitar esta variabilidade passará a ser um factor determinante nos vários sectores agro-industriais, nomeadamente no sector vitivinícola.

Este artigo apresenta vários tipos de tecnologias que, de uma forma ou de outra, poderão contribuir para a criação de conhecimento ao nível da parcela agrícola e, consequentemente, a respectiva criação de valor.

Agradecimentos

Agradecemos ao Professor José Miguel Cardoso Pereira, do Instituto Superior de Agronomia e à Investigadora Maria José Vasconcelos do Instituto de Investigação Científica Tropical, a disponibilidade de utilização do espectralímetro neste estudo.

4.7. Referências

- Cambardella, C., Moorman, T., Novak, J., Parkin, T., Karlen, D., Turco, R. & Konopka, A.** (1994) Field-Scale Variability of Soil Properties in Central Iowa Soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 58, 1501-1511.
- Castro-Esau, K.L., Sánchez-Azofeifa, G.A. & Rivard, B.** (2006) Comparison of spectral indices obtained using multiple spectroradiometers. *Remote Sensing of Environment*, 103, 276-288.
- Dias, J.** (2006) Fase da Maturação da Uva. Centésimo Curso Intensivo de Vinificação. *DRABL, Ministério da Agricultura de Desenvolvimento Rural e das Pescas*.
- Gammon, J., Serrano, L. & Surfus, J.** (1997) The photochemical reflectance index: an optical indicator of photosynthetic radiation use efficiency across species, functional types, and nutrient levels. *Oecologia*, 112, 492-501.
- Herrera, J., Guesalaga, A. & Agostin, E.** (2003) Shortwave-near infrared spectroscopy for non-destructive determination of maturity of wine grapes. *Measurement Science and Technology*, 14, 689-697.
- Liu, Y., Chen, X. & Ouyang, A.** (2008) Nondestructive determination of pear internal quality indices by visible and near-infrared spectrometry. *LWT - Food Science and Technology*, 41, 1720-1725.
- Milton, E.J., Schaepman, M.E., Anderson, A., Kneubühler, M. & Fox, N.** (2007) Progress in field spectroscopy, *Remote Sensing Environment*, doi:10.1016/j.rse.2007.08.001.
- Navalgund, R., Jayaraman, V. & Roy, P.S.** (2007) Remote Sensing applications: An overview. *Current Science*, 3(12).

- Ribereau-Gayon, P., Dubourdieu, D., Donèche, D. & Lonvaud, A. (2006)** Handbook of Enology, Volume 1 -The Microbiology of Wine and Vinifications. *John Wiley & Sons, Ltd, England.*
- Sousa, A. & Silva, J. (2007)** Conceitos teóricos de Detecção Remota. *Departamento de Engenharia Rural, Universidade de Évora.*
- Xue, L. & Yang, L. (2008)** Deriving leaf chlorophyll content of green-leafy vegetables from hyperspectral reflectance. *ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing*, doi:10:1016/j.isprsjprs.2008.06.002

5. I-FARM: A EXPLORAÇÃO VITÍCOLA INTELIGENTE DA SOCIEDADE DA INFORMAÇÃO E DO CONHECIMENTO

Miguel de Castro Neto (1) (3), Carlos Lopes (2), Luís Miguel Fernandes (3)

(1) Instituto Superior de Estatística e Gestão de Informação, Universidade Nova de Lisboa, mneto@isegi.unl.pt

(2) Departamento de Produção Agrícola e Animal, Instituto Superior de Agronomia, Universidade Técnica de Lisboa, carlosmlopes@isa.ult.pt

(3) Agri-Ciência, Consultores de Engenharia Lda., mneto@agriciencia.com; lmfernandes@agriciencia.com

5.1. Introdução

A evolução a que temos assistido no campo das tecnologias de informação e comunicação, em particular na área da computação móvel e da monitorização remota, materializada pela disponibilização no mercado de capacidades computacionais crescentes em dispositivos cada vez mais pequenos possuindo funcionalidades de monitorização, comunicação sem fios, fonte de energia integrada e capacidades de actuação, vem colocar um desafio extremamente interessante à economia em geral e ao sector agrícola em particular (Wang et al., 2006, Hart and Martinez, 2006).

Esta realidade coloca o conhecimento agronómico no centro das atenções, uma vez que estas tecnologias não fazem mais do que ampliar as nossas capacidades de recolha e armazenamento de dados (Pokorný, 2006), lançando um desafio aos técnicos e empresários do sector para desenvolverem formas de converter esses dados em informação e de utilizá-los nos processos de tomada de decisão do quotidiano da exploração agrícola. Neste contexto a aplicação de sensores variados para avaliar as condições fisiológicas das plantas está a tornar-se uma prática comum na agricultura (Gurovich and Saggé, 2005).

Neste trabalho iremos explorar o potencial das mais recentes inovações tecnológicas disponíveis no mercado para construir a **i-Farm**, a exploração

vitícola inteligente da sociedade da informação e do conhecimento. O projecto **i-Farm** foi financiado pelo Programa DEMTEC da Agência de Inovação, apesar de passível de ser aplicado em qualquer actividade agrícola, é apresentado para o caso concreto da vinha, pois a viticultura foi considerada estratégica no âmbito do Plano Estratégico Nacional para o Desenvolvimento Rural Português (GPP, 2007), numa lógica de aumento da competitividade do sector agrícola, conforme previsto no Eixo 1 da referida estratégia.

A viticultura, mais concretamente a viticultura de precisão, tem vindo a receber uma atenção crescente da comunidade científica e empresarial na medida em que é efectivamente uma actividade capital intensivo em que a realização de investimentos em tecnologias de informação e comunicação podem ser justificados numa análise custo/benefício rigorosa. É hoje possível encontrar na literatura científica e nas empresas de prestação de serviços especializados exemplos concretos da aplicação das mais recentes tecnologias de monitorização remota sem fios na vinha (Camilli et al., 2007, Morais et al., 2008, Neto et al. 2007). Neste projecto quisemos ir mais longe na utilização das tecnologias disponíveis para construir um sistema integrado de apoio à decisão numa abordagem de *Business Intelligence* e estudar a utilização de *digital dashboards* para suportar a tomada de decisão ao nível da exploração.

5.2. Tecnologias de informação e comunicação na agricultura

Num ambiente em permanente mudança e competitividade crescente, enquadrada por questões de sustentabilidade económica, social e ambiental, a agricultura tem vindo a assistir a uma evolução acelerada das tecnologias disponíveis para a sua prática. Neste contexto, uma das forças que tem vindo a fazer-se sentir com maior acuidade na sociedade em geral e no sector agrícola em particular, é sem dúvida, a revolução da informação e do conhecimento.

Um dos principais vectores desta evolução, também sentida no sector agrícola, consiste na disponibilização no mercado, de forma ininterrupta, de soluções com elevada incorporação de tecnologias de informação e comunicação que promovem a recolha e disponibilização em tempo real dos mais diversos tipos de dados ao nível da exploração agrícola, devidamente geo-referenciados. Entre os exemplos que se podem já hoje considerar triviais podemos destacar

a informação meteorológica, edáfica, de produtividade, de utilização de factores de produção, etc., estando neste momento a surgir no mercado os chamados fito-sensores que promovem a recolha automatizada de informação sobre a própria planta (Phytech, 2007). Paralelamente, e com elevado potencial de aplicação no mundo rural, temos observado uma evolução notória nos sistemas de comunicação de dados sem fios, desde o *Blue-tooth*, passando pelo Wi-Fi, até chegar à WiMax e às *mesh networks*, oferecendo actualmente soluções que permitem a cobertura de grandes áreas com custos aceitáveis (Intel, 2007, FarmNetworks, 2007, WiMax Forum, 2007).

Esta evolução tem vindo a ser enquadrada no que se denomina de agricultura de precisão. Este modelo de agricultura adopta tecnologias de informação e comunicação tão distintas como: Sistemas de Informação Geográfica (SIG), Sistemas de Posicionamento Global (GPS), Detecção Remota, Tecnologias de Débito Variável (VRT), Sensores diversos, Telecomunicações, Sistemas de apoio à decisão, etc.

A Agricultura de Precisão aparece, geralmente, com dois objectivos genéricos: o aumento do rendimento dos agricultores; e, a redução do impacte ambiental resultante da actividade agrícola. O primeiro destes objectivos pode, por sua vez, ser alcançado por duas vias distintas mas complementares: a redução dos custos de produção; e, o aumento da produtividade (e, por vezes, também da qualidade) das culturas. O cumprimento do segundo daqueles objectivos está relacionado com o rigor do controlo da aplicação dos factores de produção (sobretudo, produtos químicos, atendendo às externalidades ambientais negativas que lhes estão normalmente associadas), que deverá ser feita, tanto quanto possível, na justa medida das necessidades das plantas (Coelho et al., 2004).

Após um primeiro momento em que assistimos à adopção da agricultura de precisão nas culturas arvenses e da zootecnia de precisão nas explorações leiteiras, acreditamos que estamos a observar uma mudança em que esta lógica de agricultura será adoptada na generalidade das actividades agrícolas e que as decisões de utilização de factores de produção serão efectuadas a uma escala de pormenor muito mais fina, possibilitando uma maior eficiência na sua utilização.

Paralelamente, assistimos hoje à colocação no mercado de inúmeras tecnologias que suportam este modelo de produção e que têm vindo a colocar uma pressão crescente nos actores que se movem neste sector, incluindo não só os empresários agrícolas, mas também os técnicos que lhes dão apoio.

Neste contexto, acreditamos que num futuro não muito distante, toda a agricultura praticada será de precisão, isto é, todas as decisões tomadas e acções praticadas serão realizadas num contexto informação intensivo e, como tal, todos os agentes do sector terão de desenvolver capacidades para, recorrendo aos mais recentes desenvolvimentos disponibilizados pelas tecnologias de informação e comunicação, poderem ser competitivos tirando partido da prática desta forma de agricultura.

Do nosso ponto de vista, a grande questão que se coloca nos dias de hoje é se existe a capacidade e o conhecimento agronómico para, com base na imensa quantidade de dados susceptíveis de serem recolhidos em tempo real, desenvolver ferramentas capazes de os transformar em informação. Neste novo ambiente o factor crítico de sucesso residirá na capacidade de, suportado por repositórios de dados das mais diversas origens, natureza e formato, fornecer aqueles que, no momento oportuno e no formato adequado, serão informação e, na interacção com o empresário, se transformam em conhecimento e o apoiam nos seus processos de tomada de decisão.

Neste trabalho iremos apresentar a nossa visão deste futuro, que julgamos não muito distante, materializado no conceito **i-Farm** (exploração agrícola inteligente) que propomos e que foi colocado em funcionamento numa exploração vitivinícola da região do Alentejo (Herdade de São Miguel em São Miguel de Machede, Évora), fileira esta que, conforme já referimos, nas análises prospectivas de viabilidade técnica e económica num contexto de competitividade global, tem sido apontada como um dos clusters a explorar pela agricultura portuguesa.

5.3. i-Farm

A **i-Farm** aplica, ao nível da exploração, o potencial da utilização integrada de soluções móveis, redes de sensores, comunicações sem fios e imagens digitais materializado num sistema de informação referenciada que apoia, no campo

ou no escritório, a tomada de decisão do empresário agrícola em tempo real, suportado por um repositório único de conhecimento multidimensional integrando variáveis culturais, ambientais, sanitárias, económicas, etc.

A **i-Farm** assenta num sistema de informação e de apoio à tomada de decisão para a viticultura que se materializa numa solução integrada ao nível da exploração utilizando software e hardware inovador para recolher e analisar dados de múltiplas proveniências integrados dinamicamente e em tempo real, tirando partido de sensores de última geração, captura de imagens e comunicações sem fios, combinados com assistentes pessoais digitais e serviços Web.

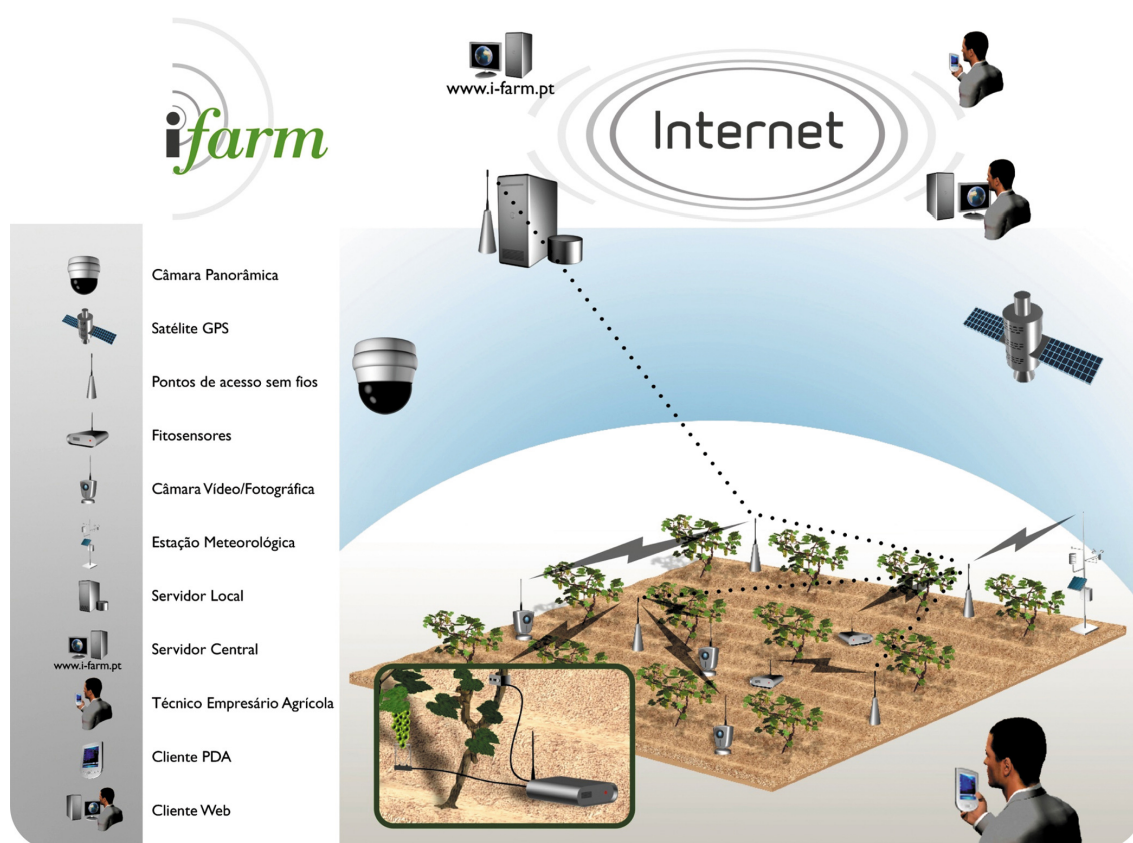


Figura 47 – Arquitectura da i-Farm

A **i-Farm** (Figura 47) é suportada por um sistema de informação integrando de forma modular múltiplas funcionalidades, acessíveis num ponto de acesso

único na Web, como sejam:

- Sensores de monitorização sem fios possibilitando a recolha de diferentes tipos de dados, nomeadamente:
 - Informação de contexto/ambiental (solo e atmosfera) - temperatura do ar, temperatura à superfície do solo, humidade relativa do ar, humidade do solo, radiação solar, velocidade do vento, precipitação, etc;
 - Informação da planta (fito-sensores) - humectação, fluxo de seiva, variação do diâmetro do tronco, temperatura da folha, dimensão do fruto, etc.;
- Interligação com os sistemas operacionais de gestão da exploração;
- Câmaras de vídeo/fotográficas sem fios para recolha de imagens e visitas virtuais à exploração;
- Assistentes pessoais digitais, integrando capacidades de comunicação/acesso à Internet, para recolha de informação de campo e acesso directo, a partir do campo, ao repositório de conhecimento;
- Cobertura sem fios da exploração para suportar a recolha e transmissão em tempo real dos dados que estão a ser monitorizados e o acesso à Intranet e Internet a partir do campo.

5.4. Business Intelligence

Na materialização do conceito **i-Farm** iremos adoptar uma abordagem de *Business Intelligence* (BI). A BI é um termo abrangente que inclui ferramentas, arquitecturas, bases de dados, *data warehouses*, gestão de performance, metodologias, etc. integrados num sistema de informação unificado, cujo objectivo é disponibilizar aos gestores e técnicos de uma organização uma forma rápida e simples de aceder interactivamente a todos os dados da empresa, em tempo real, bem como facultar a possibilidade de efectuar operações de manipulação e análise sobre os mesmos (Turban, 2007).

Através da análise de dados históricos e actuais, bem como de métricas e indicadores de desempenho construídos a partir dos mesmos, os decisores

obtem um conhecimento que os apoia na tomada de melhores e mais bem fundamentadas decisões. Entre as capacidades tradicionalmente disponibilizadas pelas soluções de BI podemos referir: *reporting* e *querying*, análises complexas, *data mining*, previsão, etc.

As soluções de *Business Intelligence* em ambiente empresarial têm normalmente quatro componentes principais: as fontes de dados dos sistemas operacionais da empresa e, eventualmente, fontes externas de informação; uma *data warehouse* (DW) com as suas fontes de dados; um componente de *business analytics*, consistindo numa colecção de processos e ferramentas para manipular e analisar os dados existentes na *data warehouse*, podendo incluir funcionalidades de *OnLine Analytical Processing* (OLAP), *data mining*, *business performance management* (BPM) para monitorização e análise do desempenho; e um interface para o utilizador, como por exemplo um *digital dashboard* (painel de bordo).

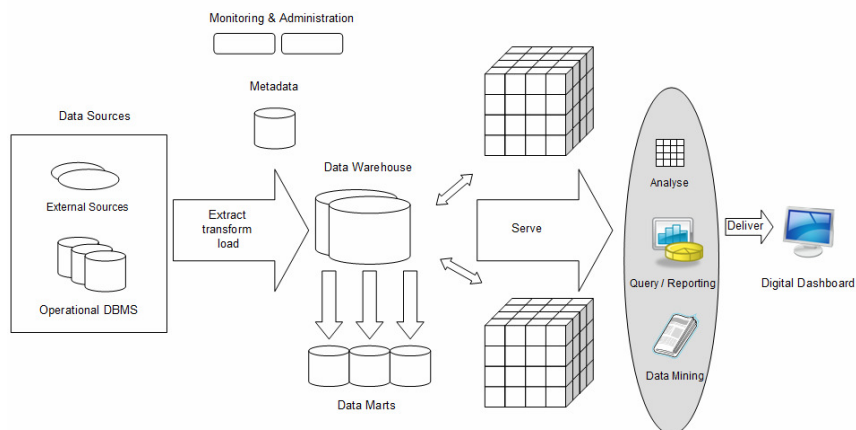


Figura 48 – Arquitectura de alto-nível

Fonte: Nilakanta *et al.*, 2007

A arquitectura de alto-nível de uma solução de BI pode ser observada na Figura 48, conforme se detalha de seguida:

Fontes de Dados – conjunto de repositórios de dados dispersos pela organização, normalmente associados aos sistemas de informação

operacionais, a que se podem juntar fontes de dados externas à organização, como por exemplo informação de mercado.

Data warehouse – os dados originários das várias fontes fluem para uma *Data Warehouse* (DW) que é uma base de dados especial ou um repositório de dados que foi preparado para suportar aplicações de tomada de decisão desde simples operações de *reporting* e *querying* até optimizações complexas. Uma DW é uma colecção de dados orientados por assuntos, integrados, variando ao longo do tempo e não voláteis utilizados para a tomada de decisões. As DW são construídas com base, essencialmente, em metodologias de metadados e ETL (*Extraction, Transformation and Loading*). Podem ainda existir *data marts* que são repositórios de um assunto ou de um departamento em particular.

Business analytics – consiste na componente da BI que oferece aos utilizadores a possibilidade de criarem, a pedido e de forma interactiva, relatórios e consultas, bem como realizarem análises de dados, conhecida inicialmente como *Online Analytic Processing* (OLAP) podendo ainda incluir uma vertente de *data mining* enquanto componente de descoberta de novo conhecimento e de previsão.

Interface para o utilizador – incluímos nesta área os *digital dashboards* e as ferramentas de transmissão da informação que permitem fazer chegar aos utilizadores uma visão integrada e compreensível das medidas de desempenho da empresa, os *Key Performance Indicators* (KPI), tendências e excepções, integrando informação de múltiplas áreas de negócio. Os *dashboards* disponibilizam uma visualização graficamente intuitiva do desempenho da organização semelhante ao painel de bordo de um automóvel. O segredo do sucesso no desenho de qualquer *dashboard* digital consiste na captura das métricas e dos indicadores de desempenho que, quando comparados com o desempenho actual e combinados sob a forma de gráficos, traduzem a saúde do negócio em tempo real.

5.5. Business Intelligence na I-Farm

No caso concreto da **i-Farm**, enquanto sistema integrado de apoio à decisão ao nível da exploração vitícola na unidade de demonstração montada na Herdade da Pimenta (São Miguel de Machede, Évora), foram instaladas três ilhas de

monitorização numa parcela da casta Aragonês, conforme ilustrado pela imagem abaixo.



Figura 49 – Localização das “Ilhas” da i-Farm

A instalação destas três ilhas e a sua localização espacial numa lógica de viticultura de precisão assentou numa análise da variabilidade espacial de algumas características da parcela, nomeadamente condutividade eléctrica do solo (a 30 e 80 cm), declive e elevação, conforme é visível na Figura 50.

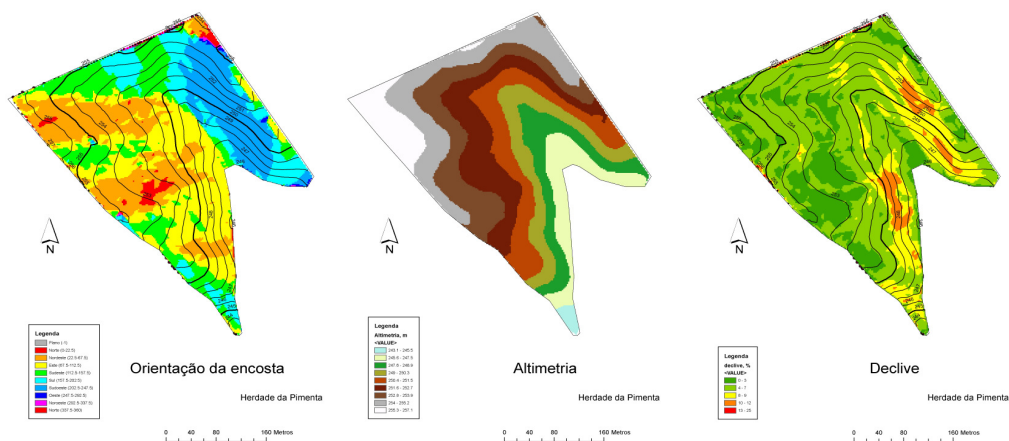


Figura 50 – Caracterização espacial da parcela

Estas três ilhas monitorizavam em permanência a vinha com recurso aos fito-sensores e o teor de humidade do solo, promovendo, ainda, a recolha de imagens digitais horárias com recurso a uma câmara de vídeo. Numa das ilhas é, também, monitorizada a atmosfera com recurso a uma estação meteorológica. Estas são as fontes de dados que serão integrados e complementados com os dados originários do sistema de informação operacional da exploração, conforme se apresenta de seguida.

Numa abordagem de BI, o sistema proposto pela i-Farm e materializado na Herdade da Pimenta, traduz-se no modelo esquematizado na Figura 51 que se detalha de seguida.

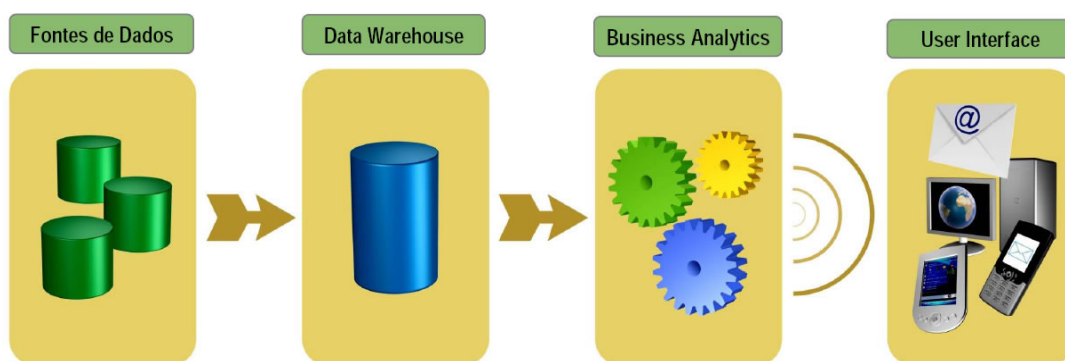


Figura 51 – Arquitectura de alto-nível de BI da i-Farm

Fontes de dados – recolha de dados efectuada de forma automática e contínua com diversas origens que podemos agrupar da seguinte forma:

- Informação de contexto – proveniente dos sensores ambientais instalados na estação meteorológica automática e dos sensores de humidade no solo existentes em cada ilha;
- Informação da cultura – proveniente da rede sem fios de fito-sensores;
- Informação operacional – proveniente dos sistemas de informação operacionais da exploração e sempre que o técnico/empresário visita o campo com recurso a cadernos de campos disponibilizados no PDA;
- Informação visual – proveniente de câmaras de vídeo/fotográficas.



Figura 52 – Imagens de alguns dos equipamentos instalados na i-Farm

Data warehouse – todos os dados recolhidos são integrados num único repositório de conhecimento que oferece a possibilidade de armazenar e processar informação alfa-numérica, espacial (geo-referenciada) e imagens/vídeos. Este repositório tem implementado um conjunto de procedimentos de validação interna que são executados de forma automática e contínua, visando garantir a fiabilidade e integridade da informação recolhida.

Business Analytics – nesta camada do processo de BI têm lugar um conjunto de procedimentos de análise envolvendo de funcionalidades que consistem no que se denomina normalmente de *querying*, *reporting* e *OnLine Analytical Processing* (OLAP). Futuramente contamos explorar as potencialidades das técnicas de *Data Mining* aplicadas sobre o repositório de dados que foi possível construir, tendo em vista efectuar algumas análises numa lógica de descoberta de novo conhecimento e de previsão.

User Interface – o ponto crítico da **i-Farm** será, sem dúvida, a interface que os seus “clientes”, os técnicos/empresários agrícolas, terão de utilizar para aceder ao repositório de conhecimento criado. Assim, será disponibilizada a possibilidade de consultar e manipular em tempo real a informação que está ser recolhida num determinado momento, bem como visualizar sob diversas formas (gráficos, tabelas, SIG, fotografias, vídeos, etc.) o repositório de dados

históricos e as tendências de evolução quando tal se justifique.

Esta camada suporta dois tipos distintos de abordagem na forma de entrega da informação. Por um lado, numa lógica “*push*” suporta o envio por SMS ou e-mail de alertas para qualquer situação fora do que o sistema considere como normal. Por outro lado, numa lógica “*pull*” o acesso à informação pode ser efectuada num interface amigável sempre em ambiente Web, para duas plataformas distintas - computadores de secretária / portáteis e assistentes pessoais digitais com ligação à Internet, com ou sem fios.

O objectivo desta interface Web consiste em disponibilizar um conjunto de indicadores chave de desempenho (KPIs – *Key Performance Indicators*) num *digital dashboard* onde num relance é possível ter uma visão global e unificado do “estado” do objecto de análise.

Os *digital dashboards* oferecem uma visualização gráfica intuitiva do desempenho do processo sob análise, de uma forma similar a um painel de navegação de um automóvel. O principal desafio que se coloca no desenho de *digital dashboards* é conseguir apresentar toda a informação relevante num único ecrã, de forma clara e sem distrações, facilitando a sua assimilação. Entre as características que procuramos encontrar num *dashboard*, podemos referir:

- Utilização de componentes visuais para destacar num simples relance os dados e as excepções que exigem atenção;
- Transparente para o utilizador, isto é, exigir o mínimo de treino possível e serem extremamente simples de utilizar;
- Combinar dados de um conjunto variado de sistemas numa visão única, resumida e unificada do negócio;
- Suportar *drill-down* ou *drill-through* para fontes de dados ou relatórios subjacentes;
- Apresentar uma visão dinâmica e realista através de actualizações dos dados periódicas, permitindo ao utilizador possuir informação atempada das mais recentes alterações no negócio;
- Requer pouca, ou nenhuma, customização para implementar, entrar em produção e manter.

Efectivamente, estes KPIs, para além de permitirem sob a forma gráfica ter uma visão instantânea e de fácil leitura da “saúde” da empresa, são idealmente apresentados de forma contextualizada, isto é, em associação com indicação do que é um mau/médio/bom valor para a métrica em questão, bem como suportando a possibilidade de efectuar operações de *drill-down* para explorar com mais detalhe a composição do indicador em questão ou aumentar a granularidade temporal da análise, isto é, desagregar o valor mensal em valores diários.

No caso dos assistentes pessoais digitais, o acesso à Internet sem fios na exploração permitirá aceder a partir do campo ao sistema de informação da **i-Farm** na exploração oferecendo, assim, a possibilidade do próprio técnico/empresário aceder ao sistema quando está a realizar a sua visita ao terreno.



Figura 53 – Digital Dashboard da i-Farm

Na Figura 53 podemos observar a interface de acesso à **i-Farm**, bem como exemplos dos *dashboards* construídos para acesso por browsers em computador de secretária e assistentes pessoais digitais.

A página de entrada do sistema de informação construído dá acesso imediato

e directo a um conjunto de informação considerada relevante e caracterizadora da realidade em estudo, conforme pode ser observado na Figura 54 seguinte, onde ao clicar numa das ilhas (1) é apresentada uma janela informativa com várias palhetas onde se pode consultar; as características tecnológicas da ilha; alguns indicadores ambientais sob a forma de gráficos; gráfico de monitorização dos fito-sensores; e vídeo em tempo real da câmara na ilha. É ainda possível ter acesso directo (2) a uma câmara panorâmica instalada no escritório da Herdade da Pimenta.

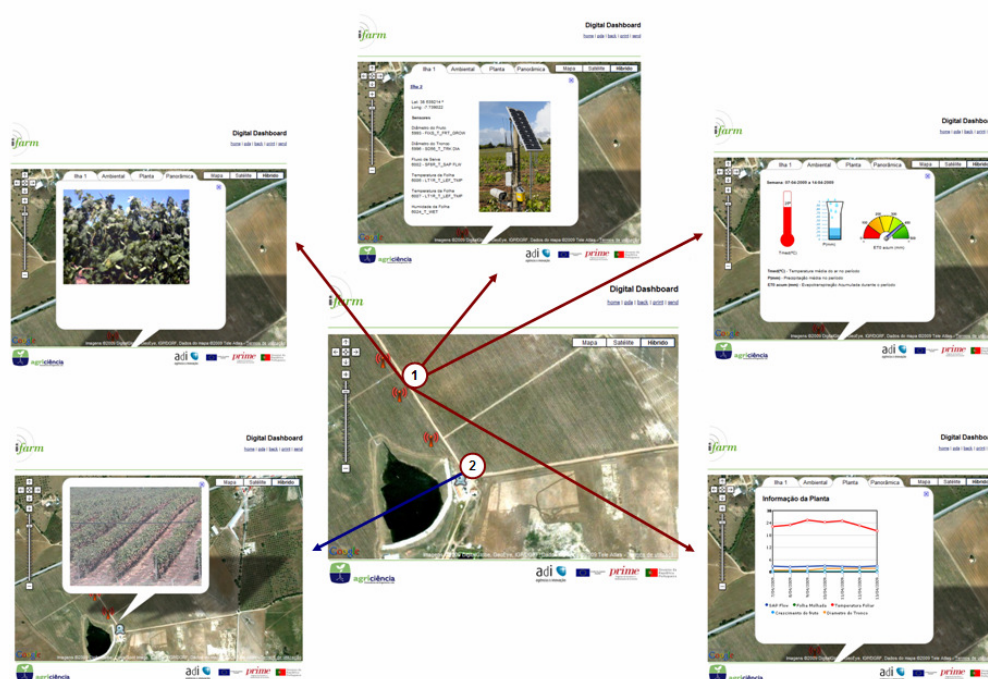


Figura 54 – Digital Dashboard da i-Farm

Para além do acesso directo e imediato referido acima, é possível aceder, para qualquer das ilhas que constituem a **i-Farm**, a um *digital dashboard*, conforme apresentado na figura abaixo, onde num único ecrã é apresentada uma fotografia multidimensional dos indicadores objecto de análise com base na informação que vai sendo de forma contínua carregada na *data warehouse* da **i-Farm**, oferecendo a possibilidade de efectuar operações de *drill-down* para obter informação adicional, eventualmente com maior detalhe. Entre as possibilidades suportadas, podemos referir como exemplo e ilustrado na

Figura abaixo, a possibilidade de clicar no valor da média de um dos fito-sensores num determinado dia e obter a evolução horária da variável em questão ao longo das 24 horas desse dia e, ao clicar numa determinada hora, visualizar uma fotografia da vinha nesse dia/hora. Outra possibilidade, também apresentado na figura abaixo, consiste no cruzamento imediato de informação de diferentes naturezas, como por exemplo a capacidade de, ao detectar um comportamento estranho ou uma alteração brusca num fito-sensor, consultar a informação proveniente do sistema de informação de gestão nesse dia/hora para perceber se existia alguma intervenção humana que tenha sido responsável pela alteração detectada.

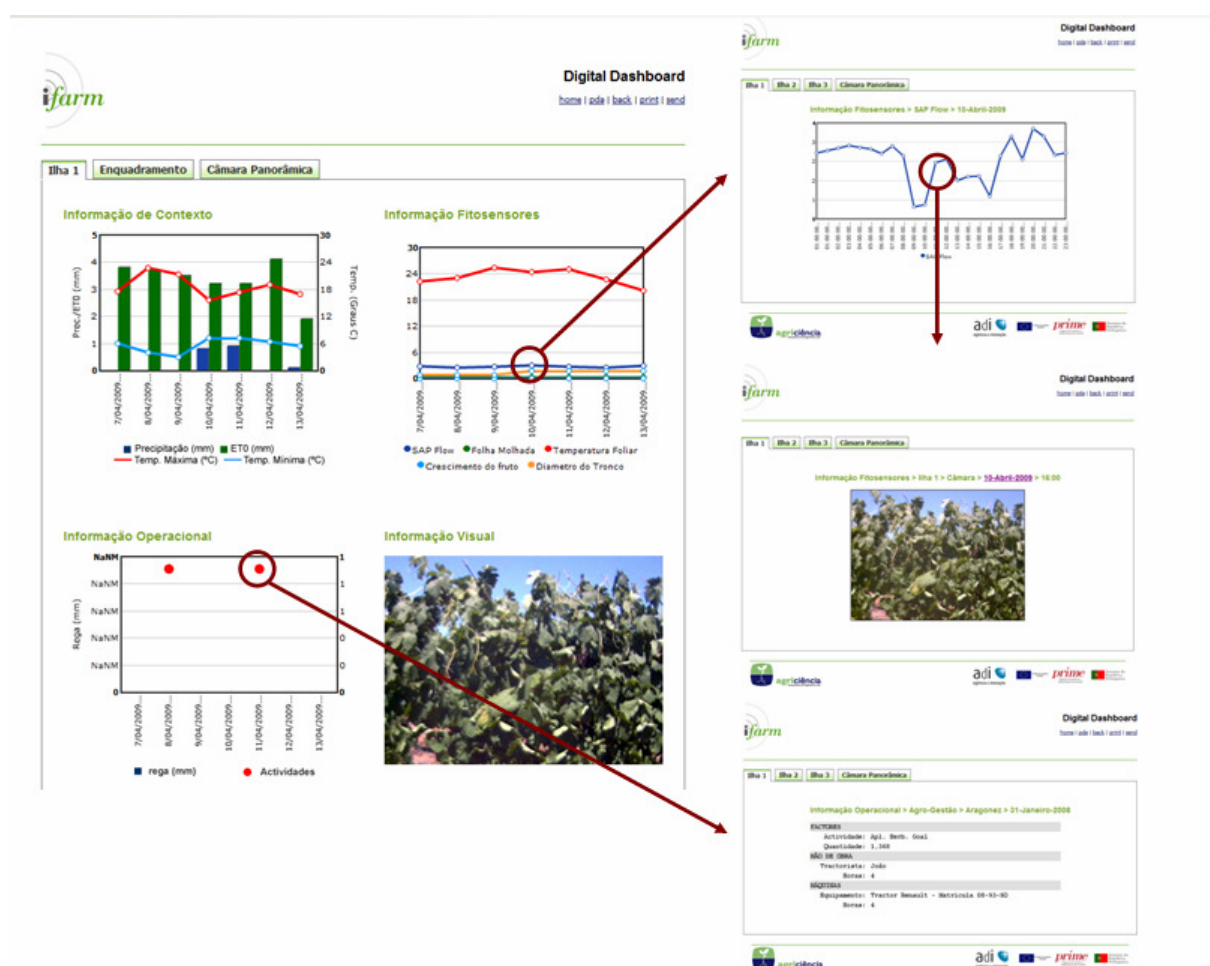


Figura 55 – Algumas funcionalidades do *digital dashboard* da i-Farm

5.6. Desenvolvimentos futuros

Neste momento a unidade de demonstração da **i-Farm**, incluindo toda a infraestrutura tecnológica, já esteve instalada na Herdade da Pimenta em São Miguel de Machede, Évora, um ciclo cultural completo, tendo sido testado com sucesso a componente de monitorização automática permanente nas vertentes ambiental, edáfica e planta, tendo como objectivo alimentar o carregamento da *data warehouse* de suporte ao sistema de informação.

A interface (*digital dashboard*) foi construída, conforme apresentado acima, nas versões para browsers em computadores de secretária e assistente pessoal digital, sendo previsível que esta última, a versão para PDA, sofra algumas simplificações decorrentes das próprias características específicas dos equipamentos propriamente ditos.

Uma vertente que será alvo de especial atenção após termos recolhido dados em quantidade suficiente após o arranque do módulo de *business analytics*, será a exploração das possibilidades oferecidas pelas técnicas de *data mining* na criação de novo conhecimento com base na *data warehouse* construída.

O *data mining* é um processo orientado para a descoberta de conhecimento com base em padrões e hipóteses automaticamente extraídos dos dados, ao contrário dos métodos de inferência estatística em que as hipóteses são formuladas e validadas pelos dados, isto é, o *data mining* é orientado pelos dados, enquanto que a estatística é orientada pelo Homem (Teixeira e Santos, 2006).

Podemos ainda referir que a lógica modular que a **i-Farm** adopta permitirá assegurar, numa segunda fase, a agregação ao sistema de informação de sistemas de apoio à decisão de natureza diversa, como seja ferramentas de apoio à gestão da rega, previsão de ocorrência de problemas com pragas e doenças, cálculo de necessidades de nutrientes, previsão de colheita, etc. Podemos desde já referir, a título de exemplo, o serviço Web de apoio à gestão da rega oferecido pelo COTR (www.cotr.pt/mogra) e no caso da protecção das culturas o Serviço Nacional de Avisos Agrícolas (snaa.dgadr.pt).

Mais, sendo suportado pelas tecnologias Internet, será possível assegurar a possibilidade de recolher, armazenar e disponibilizar informação com origem no ambiente externo da exploração, incluindo informação de mercado, legal,

administrativa, etc., numa arquitectura orientada para serviços (SOA).

Por último, em resultado do processamento e análise dos dados recolhidos, o sistema poderá vir a oferecer funcionalidades de controlo remoto/actuação sobre determinados aspectos da gestão das culturas envolvidas, como por exemplo a gestão da rega ou a intervenção localizada de determinada operação fitossanitária.

5.7. Conclusões

Os conhecimentos adquiridos até ao momento com a realização deste projecto de demonstração da utilização das mais recentes tecnologias de informação e comunicação ao serviço da agricultura, neste caso concreto da viticultura, permite-nos concluir que a aposta na utilização de soluções tecnologicamente avançadas numa abordagem de *Business Intelligence* no sector agrícola numa actividade capital intensivo como é o caso da vinha, reúne todas as condições para ter sucesso.

Mais, julgamos que é possível encarar com optimismo o seu potencial de adopção e utilização de forma alargada, não só nesta cultura, mas também noutras fileiras estratégicas como sejam a olivicultura, horto-fruticultura, etc.

Neste momento o grande desafio consiste em desenvolver os processos no campo da *business analytics* de forma a criar valor acrescentado sobre o conteúdo da *data warehouse* construída e torná-lo disponível de forma amigável e interactiva sob a forma de um *digital dashboard* aos seus utilizadores finais.

Poderá conhecer melhor a i-Farm em www.i-Farm.pt.

5.8. Referências

A. Camilli *et al.*, 2007, From wireless sensors to field mapping: anatomy of an application for precision agriculture, Computers and Electronics in Agriculture, Vol. 58, 25-36.

- C. J. S. Teixeira, M. F. Santos, 2006, Descoberta de Conhecimento em Bases de Dados como Suporte a Actividades de Business Intelligence: aplicação na ara da distribuição de água, Actas da 1ª Conferência Ibérica de Sistemas e Tecnologias de Informação, 21 a 23 de Junho, Esposende, Portugal.**
- E. R. Turban, R. Sharda, J. Aronson, D. King D., 2007, Business Intelligence. Prentice Hall, New Jersey.**
- Farm Networks, <http://www.farmnetworks.org>.**
- Fórum WiMax: <http://www.wimaxforum.org>.**
- INTEL - Redes sem fios na agricultura:**
http://www.intel.com/research/exploratory/wireless_sensors.htm#agri.
- J. C. Coelho, L. M. Silva, M. Tristany, M. C. Neto e P. A. Pinto, 2004, Agricultura de Precisão, Prefácio, Lisboa.**
- J. K. Hart, K. Martinez, (2006), Environmental Sensor Networks: A revolution in the earth system science?, Earth-Science Reviews, Vol. 78, 177-191.**
- J. Pokorny, 2006, Database architectures: Current trends and their relationships to environmental data management, Environmental Modelling & Software, Vol. 21, 1579-1586.**
- L. A. Gurovich, O. Saggé, 2005, Fine Tuning Irrigation Scheduling with Phytomonitoring Technology in Chile, Proceedings of 2005 EFITA/WCCA Joint Congress on IT in Agriculture, 25-28 July, Vila Real, Portugal.**
- N. Wang *et al.*, 2006, Wireless sensors in agriculture and food industry—Recent development and future perspective, Computers and Electronics in Agriculture, Vol. 50, 1-14.**
- NASA - Uninhabited Aerial Vehicle (UAV)s na agricultura:**
<http://www.nasa.gov/centers/ames/research/factsheets/FS-020901ARC.html>.
- Phytech, <http://www.phytech.com> .**
- Plano Estratégico Nacional para o Desenvolvimento Rural:**
<http://www.gppaa.pt/drural2007-2013>.
- R. Morais *et al.*, 2008, A ZigBee multi-powered wireless acquisition device for remote sensing applications in precision viticulture, Computers and Electronics in Agriculture, Vol. 62, 94-106.**
- S. Nilakanta *et al.*, 2008, Dimensional issues in agricultural data warehouse designs, Computers and Electronics in Agriculture, Vol. 60, 263-278.**

6. CONCLUSÕES GERAIS

A viticultura de precisão está a dar os seus primeiros passos, tendo já gerado grande interesse a nível dos principais países produtores de vinho. A transposição do conceito de agricultura de precisão à vitivinicultura requer algumas adaptações assim como oferece novos desafios.

Os mapas de produtividade disponíveis mostram uma variabilidade espacial significativa, muitas vezes na ordem do simples para o triplo em áreas de 4 a 5 hectares.

O sector da vitivinicultura está especialmente talhado para a viticultura de precisão. De facto, trata-se de uma actividade intensiva na aplicação de factores, com elevados níveis de mecanização e que produz um produto com elevado valor acrescentado. Por outro lado, os empresários do sector estão bastante conscientes da necessidade de busca de qualidade e da diferenciação, e por vezes, com a dimensão suficiente para dispor de capital para investir.

Neste manual foram apresentadas metodologias para permitir o mapeamento da qualidade das uvas antes da vindima e deste modo proceder a uma vindima segmentada. O objectivo é a separação de lotes de qualidade diferenciada dentro de uma mesma parcela/casta de modo a conseguir produzir vinhos de qualidade superior. Foram também apresentadas tecnologias que permitem a gestão espacial dos factores de produção por via da monitorização das principais variáveis que regem a produtividade e a qualidade das uvas.

A metodologia de segmentação da vindima já se encontra comercialmente desenvolvida, sendo já vários os produtores nacionais que obtiveram os mapas de NDVI e com base nestes tomaram decisões quanto a lotes de qualidade diferenciada.

A aplicação diferenciada de factores assim como com base em informação georeferenciada em viticultura ainda não foi completamente implementada. Isto deve-se à necessidade de introdução de novas metodologias que introduzam a dimensão espacial na tomada de decisão ao nível da exploração.

Ao nível da instalação de novas áreas de vinha começam a dar-se os primeiros passos na incorporação de novas fontes de informação (e.g. levantamentos de condutividade eléctrica do solo) no processo de escolha de porta-enxertos e delineamento do sistema de rega.

Na maior parte das explorações na Europa, em que se utilizam vindimadoras com tegões incorporados, torna-se premente o surgimento de soluções comerciais para a monitorização da produtividade. Esta limitação, que deixará certamente de se colocar em breve, está também a impedir a maior utilização das tecnologias de taxa variável em viticultura.

Também se antevê a necessidade de maior número de prestadores de serviços neste mercado, com o consequente aumento da oferta e a redução de preços daí resultante.

Este manual pretendeu ser uma introdução, simultaneamente informadora e útil, para que o empresário do sector vitivinícola possa tomar as mais correctas e acertadas decisões sobre o tema.

Nos últimos anos a Agricultura de Precisão tem sido aplicada em Viticultura no que se designou por Viticultura de Precisão. Apesar das menores áreas de cultivo quando comparadas com as culturas arvenses, a extrema importância da qualidade do produto final e as elevadas margens associadas fazem da viticultura um sector ideal para a aplicação da agricultura de precisão. Este manual pretende ser uma introdução, simultaneamente informadora e útil, para que o empresário do sector vitivinícola possa tomar as mais correctas e acertadas decisões sobre o tema.

São apresentados trabalhos específicos em duas áreas principais de actuação: O mapeamento da variabilidade espacial da qualidade das uvas de forma a possibilitar que as melhores uvas cheguem à adega em lotes separados; O mapeamento da variabilidade espacial da produtividade /vigor das parcelas de forma a permitir uma gestão espacial dos factores de produção.



Ministério da
Agricultura,
do Desenvolvimento
Rural e das Pescas



UNIÃO EUROPEIA
Fundo Social Europeu

Produção apoiada pelo Programa AGRO – Medida 7 – Formação Profissional,
co-financiado pelo Estado Português e pela União Europeia através do FSE