

UNIVERSIDADE DE TRÁS-OS-MONTES E ALTO DOURO

DEPARTAMENTO DE AGRONOMIA

Agricultura de Precisão

(Fatores de produção a aplicar em função da variabilidade do meio e da cultura)

Fernando A. Santos

fsantos@utad.pt

[Página pessoal](#)

Vila Real, Maio de 2021

Introdução

A implementação da agricultura de precisão no meio rural tem vindo a substituir as técnicas tradicionais pois estas, não tendo em consideração a variabilidade do meio e do estado da cultura, conduzem a uma gestão uniforme dos fatores de produção e técnicas culturais, não condizentes com aquelas variabilidades.

Após a caracterização da exploração / culturas, para o que o Google Earth (GE) é o meio mais fácil para o fazer, pois permite georreferenciar os pontos que definem a configuração das parcelas e determinar as suas áreas, assim como de todos os locais relevantes para o conhecimento da exploração. A utilização da imagem da exploração à qual se sobrepõem a informação georreferenciada, como as parcelas, acessos, construções, etc. será a “camada base” à qual se vai sobrepor toda a informação sobre o meio e cultura. As imagens aéreas obtidas, por exemplo, por drones, permitem uma melhor resolução mas tem custos o que não acontece com as imagens obtidas do GE; a principal limitação da utilização desta ferramenta é a que se relaciona com a periodicidade da aquisição de imagens pelo que deverá ser utilizada apenas para as culturas permanentes, caso da vinha, arboricultura, florestas, etc..

No que se refere à caracterização da cultura e meio (solo e meio ambiente) a disponibilidade de informação pormenorizada sobre os mesmos é fundamental pois devem ser considerados todos os potenciais fatores que interferem no desenvolvimento das culturas que se traduzem na variação da produção da mesma; considera-se, geralmente, que a produção, quer em quantidade quer em qualidade, é o objetivo a atingir.

Perante o elevado volume de informação obtido na análise do estado das culturas é fundamental determinar quais os fatores que mais se relacionam com o objetivo definido (produção) para se atuar, prioritariamente, nos que permitem potenciar esse objetivo.

Para gestão da informação a utilização de programas GIS, nomeadamente o QGIS que se utiliza nas aulas de Agricultura de Precisão, permite definir “manchas” da variabilidade de toda a informação recolhida e, em função desta, definir mapas de prescrição que possam “corrigir” os fatores que mais se correlacionam com a produção.

A determinação da quantidade de fator de produção a aplicar deve ter em consideração a sua disponibilidade no meio e planta e tendo como referência dados médios obtidos em situações equivalentes às em análise.

A aplicação dos fatores, caso se disponha de equipamentos que permitam a sua aplicação variável de acordo com os mapas de prescrição será, obviamente a solução “ideal” mas, na ausência destes equipamentos, devem-se definir manchas de igual valor e identificar as folhas / parcelas abrangidas por cada uma delas sendo a regulação efetuada pelo operador para as parcelas/folhas, maioritariamente incluídas em cada uma dessas manchas. Nesta situação e por questões práticas, o número de manchas não deverá ser superior a três podendo, no entanto, ser mais elevado quando a área em causa o justifique.

Após a primeira aplicação diferenciada dos fatores que se consideraram mais relevantes deve decorrer um prazo de 2-3 anos para se proceder a nova recolha de informação para se identificar o impacto resultante daquela aplicação. Esta informação, juntamente com a anterior, permite criar um “histórico” das culturas que é fundamental para se definirem novas formas de atuação que nos permita aproximar dos objetivos pretendidos.

Caraterização da exploração

A caraterização dimensional da exploração através da georreferenciação das parcelas permite definir a configuração das parcelas e determinar os seus perímetros e áreas. A caraterização da Vinha Nova da Qta da N. S. de Lurdes da UTAD será efetuada utilizando o programa GE e um GPS (Garmin600).

Caraterização da Vinha Nova utilizando o Google Earth

Considerando o exemplo da Vinha Nova para se utilizar o GE começa-se por definir e georreferenciar quatro pontos exteriores à vinha, os quais se designam por IE (inferior esquerdo), SE (superior esquerdo), ID (inferior direito) e SD (superior direito); a ferramenta utilizada é “Adicionar marcador local”.

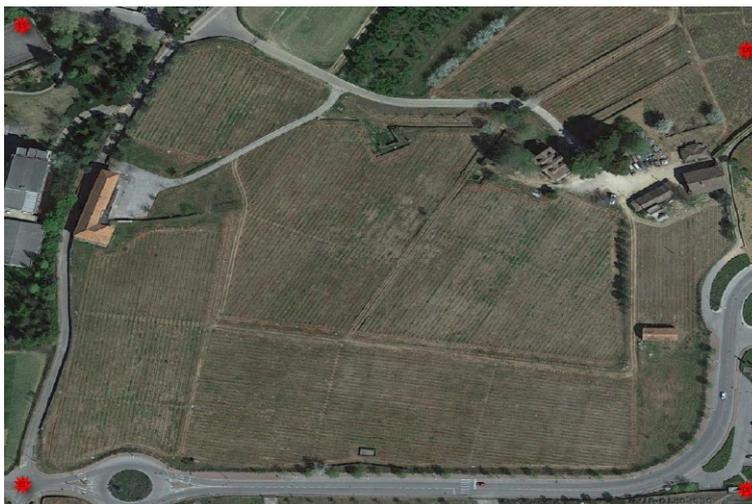


Figura 1- Imagem da Vinha Nova com os quatro pontos exteriores identificados e georreferenciados.

Os dados relativos à georreferenciação dos pontos exteriores, em formato decimal, assim como as suas cotas, serão gravados numa folha de cálculo de um livro excel; este livro incluirá toda a informação funcionando de base de dados para apoio aos outros programas.

Pt	X_DD	Y_DD	Cotas
EI	-7.738641	41.284579	471
ES	-7.738644	41.287094	456
DS	-7.734707	41.286959	471
DI	-7.734709	41.284550	473

Quadro 1- Imagem da folha de cálculo com os dados dos pontos exteriores e das suas cotas

Com a imagem da vinha utiliza-se a ferramenta Régua para se definir os polígonos de cada uma das 12 folhas de acordo com o número de identificação de cada uma delas, ou seja:



Figura 2- Representação dos limites das diferentes folhas da vinha e identificação de um ponto central em cada uma delas.

Os pontos limite utilizados para definir cada uma das folhas é gravado no livro excel para poderem ser importados por outros programas e para serem utilizados para definir um gráfico como o a seguir apresentado; para que os polígonos de cada folha se “fechem” é necessário que, para cada uma delas, o primeiro ponto apareça também como último.



Figura 3- Gráfico de dispersão obtido na folha de cálculo com a identificação das folhas e dos seus pontos limite

Considerando que a informação relativa aos diferentes tipos de dados disponível para cada uma das folhas é única, ou seja, não se dispõe de dados que traduzam a variabilidade intraparcelar, georreferenciou-se um ponto interior em cada uma das folhas fazendo corresponder aqueles dados a cada um destes pontos; por exemplo, a cota da folha 1, refere-se à cota de um ponto situado \pm no centro dessa folha (ver quadro 2). Todos os dados relativos aos pontos centrais georreferenciados das folhas são gravados no livro de cálculo.

Folhas	X_DD	Y_DD	Cotas	Perim GE	Área GE	Perim GPS	Area GPS
F01	-7.737567	41.286644	456	223.00	3219.00	225.00	3363.00
F02	-7.736919	41.286158	463	329.00	5620.00	330.00	5331.00
F03	-7.737156	41.285700	466	230.00	3195.00	230.00	3253.00
F04	-7.739946	41.285703	461	210.00	2431.00	201.00	2384.00
F05	-7.738077	41.285269	466	202.00	2531.00	203.00	2571.00
F06	-7.738153	41.284907	470	183.00	1730.00	176.00	1592.00
F07	-7.737346	41.285045	468	261.00	4318.00	262.00	4390.00
F08	-7.736608	41.284989	471	280.00	4401.00	276.00	4216.00
F09	-7.735757	41.284920	473	240.00	3660.00	230.00	3465.00
F10	-7.735143	41.285758	471	216.00	1989.00	208.00	1981.00
F11	-7.735905	41.285948	467	239.00	2864.00	232.00	2831.00
F12	-7.736139	41.285607	468	310.00	5212.00	338.00	5564.00

Quadro 2- Exemplo de dados referentes às várias parcelas da vinha.

Caraterização da Vinha Nova utilizando o MapSource

Em alternativa à georreferenciação dos pontos a partir do GE pode-se utilizar um GPS para o que é necessário o utilizador deslocar-se à vinha e percorrer os limites de cada uma das folhas indo georeferenciando os pontos onde as trajetórias mudam de direção; se o limite (perímetro) incluir curvas devem-se georeferenciar o número suficiente de pontos que permitam definir, o mais aproximado possível, essa curva.

Assim, depois de georeferenciados os pontos liga-se o GPS (Garmin 600) a um computador onde está instalado o programa MapSource (MS) e descarrega-se o ficheiro com os dados; o ficheiro tem a extensão “gpx”.

O programa MS tem, entre várias funcionalidades, a possibilidade de definir rotas que traduzem os perímetros de cada folha.

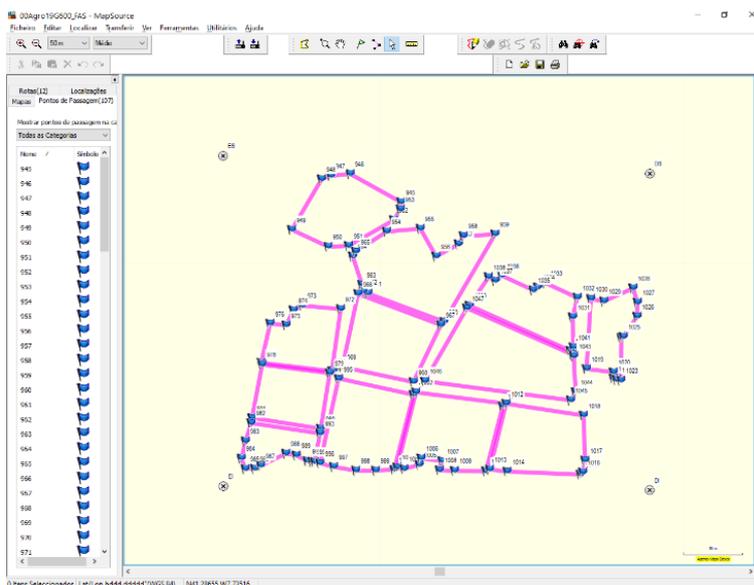


Figura 4- Imagem dos limites e pontos exteriores das folhas utilizando a “Ferramenta de Rotas” do MS.

Este programa é utilizado igualmente para determinar os perímetros e áreas de cada folha sendo esta informação comparada com a obtida com o GE; as diferenças observadas não são, geralmente, significativas e devem-se, entre outras causas, à “dificuldade” de identificar corretamente os pontos limites das folhas no GE e a erros de medição efetuadas pelo GPS, nomeadamente os resultantes das condições atmosféricas e proximidade de obstáculos. A possibilidade de importar os ficheiros “gpx” pelo GE permite constatar as diferenças resultantes da utilização de cada um dos métodos.



Figura 5- Comparação dos limites das folhas utilizando o GE e o MS

Determinação de informação elativa aos dados do meio e das plantas

Os dados relativos ao solo foram determinados no Laboratório de Solos da UTAD, os do meio ambiente obtidos na aula e os da produção média, por planta, durante uma vindima efetuada anteriormente.

Estes dados, gravados na folha de cálculo, são os representados no quadro seguinte:

Folhas	X_DD	Y_DD	Cotas	SlpHH2O	SlpHKCl	SIMO	SIP2O5	SIK2O	SIMg	TpSI	TpFI	TpAr	HmAr	Prod
F01	-7.737567	41.286644	456	6.30	5.50	1.40	91	156	32	17.2	16.4	15.2	73.2	2.8
F02	-7.736919	41.286158	463	6.90	4.80	2.00	246	192	47	17.4	16.2	15.1	74.3	3.5
F03	-7.737156	41.285700	466	6.90	4.80	2.00	246	192	47	18.1	16.6	15.4	74.2	3.3
F04	-7.739946	41.285703	461	6.20	5.60	1.30	52	128	19	16.7	16.1	14.8	76.0	2.9
F05	-7.738077	41.285269	466	6.70	5.50	1.50	107	166	13	17.3	16.5	14.8	76.5	2.8
F06	-7.738153	41.284907	470	6.40	4.80	1.20	152	136	16	16.9	17.5	15.1	72.5	2.7
F07	-7.737346	41.285045	468	6.50	5.00	1.50	68	176	13	17.5	18.4	15.3	76.6	2.6
F08	-7.736608	41.284989	471	6.50	4.70	0.90	54	176	28	18.2	17.2	15.1	75.6	2.2
F09	-7.735757	41.284920	473	5.90	4.30	1.30	52	152	44	19.0	17.9	15.1	72.1	1.9
F10	-7.735143	41.285758	471	6.10	4.90	1.50	102	144	25	19.8	18.1	15.5	71.1	2.2
F11	-7.735905	41.285948	467	5.60	4.30	1.30	142	200	28	19.3	18.0	15.8	70.3	2.9
F12	-7.736139	41.285607	468	5.60	4.30	1.30	142	200	28	19.3	18.1	15.7	71.5	2.8

Quadro 3- Dados do solo, meio ambiente e produção, relativos a cada uma das folhas da vinha

(TpSI- temperatura do solo, TpFI- temperatura das folhas, TpAr- temperatura do ar, HmAr- humidade do ar; Prod- produção (kg/planta)

Para além desta informação foram determinados na aula dados relativos à refletância das plantas para o que se utilizou o espectroradiómetro SpetraSuite (SS) e um equipamento SPAD.

O espectroradiómetro permite determinar a refletância das folhas entre os valores de 400 - 1100 nm obtendo-se, assim, a assinatura espectral de cada uma delas; estas são recolhidas nas plantas localizadas junto dos pontos interiores das parcelas da vinha e transportadas para o laboratório onde está instalado o SS. Os dados referentes aos comprimentos de onda inferiores a 400 nm e superiores aos 1100 nm não são considerados pois os seus valores não são fiáveis.

O medidor de clorofila SPAD (“clorofilómetro”) é um sensor ótico de proximidade que mede indiretamente o teor de azoto nas folhas pela determinação da transmitância entre 430 e 750 nm. Pela facilidade de utilização é indicado para identificar o estado das culturas sendo o valor medido um valor relativo, sem dimensão, tanto mais elevado quanto maior for o teor de clorofila (azoto) das folhas. A clorofila utiliza a luz vermelha baseando-se o SPAD na quantidade de luz vermelha absorvida e na quantidade transmitida através da folha; quanto mais clorofila a folha tem mais luz vermelha é absorvida sendo o valor lido mais alto.

Este equipamento pode igualmente medir o teor da clorofila na banda do infravermelho próximo, ou seja, entre 780 e 1050 nm.

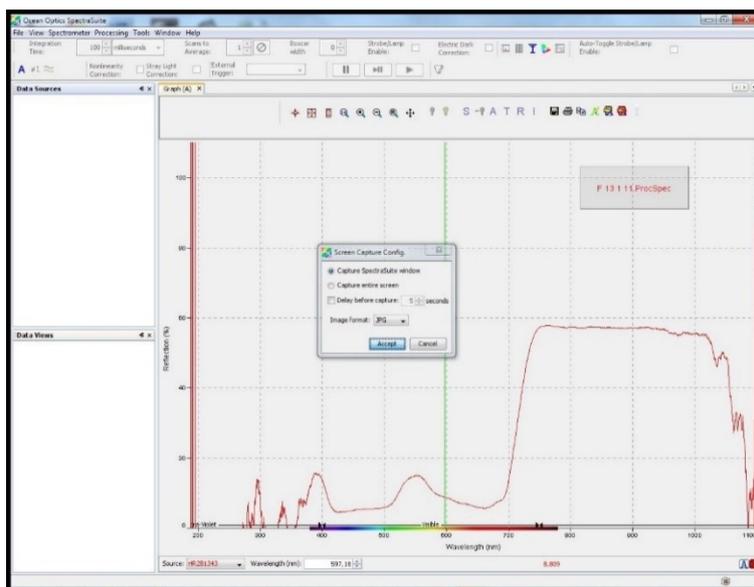


Figura 6- Imagem da assinatura espectral de uma folha

Os dados da refletância das folhas representativas das doze parcelas da vinha são exportadas para a folha de cálculo onde são determinados vários Índices de Vegetação, nomeadamente o NDVI, GNDVI, PPR, PVR, RB, RPER, GPER e o BPER.

A exportação dos dados (“Data Sources”) do SS é feita para a folha excel através da ferramenta “Copy Spectral Data to Clipboard” sendo a informação relativa a cada medição copiada para duas colunas, uma com os comprimentos de onda e outra com as refletâncias.

Frequências Abs	Refletância folha 1	Refletância folha 2	Refletância folha 3	Refletância folha 4	Refletância folha 5	Refletância folha 6	Refletância folha 7	Refletância folha 8	Refletância folha 9	Refletância folha 10	Refletância folha 11	Refletância folha 12
400.18	6.29	5.56	6.43	4.28	3.83	3.72	5.63	3.45	10.95	4.45	10.12	4.88
400.64	6.15	5.56	6.31	4.17	3.80	3.52	5.47	3.41	10.73	4.33	9.92	4.85
401.10	6.12	5.57	6.27	4.25	3.79	3.49	5.42	3.44	10.60	4.23	9.83	4.96
401.56	6.00	5.45	6.32	4.30	3.75	3.46	5.40	3.44	10.55	4.10	9.78	4.96
402.02	5.85	5.36	6.21	4.22	3.71	3.28	5.22	3.29	10.39	3.97	9.65	4.90
...
1099.51	69.34	41.13	63.93	54.19	41.86	5.59	41.40	22.91	60.73	62.25	62.02	39.27
1100.35	93.08	96.40	36.20	84.03	97.69		2.26	46.44	66.03	92.37	38.74	22.15

Quadro 4- Amostra de valores de refletância entre os 400 e 1100 nm.

Relativamente aos Índices de Vegetação estes são determinados através de fórmulas que incluem a refletância em dados comprimentos de onda, como se mostra no quadro seguinte:

	F01	F02	F03	F04	F05	F06	F07	F08	F09	F10	F11	F12	Notas
IV900	41.055	42.257	40.849	57.531	45.710	51.100	49.903	49.943	48.320	55.239	53.569	54.289	Refletância a 900 nm
IV750	42.450	43.691	41.992	57.807	47.141	52.262	51.185	52.368	48.138	55.645	53.674	52.861	Refletância a 750 nm
Vermelho680	2.376	1.622	2.082	3.564	3.57	3.44	3.19	4.499	3.499	3.776	2.719	2.278	Refletância a 680 nm
Vermelho650	3.810	2.500	2.445	4.259	3.182	4.612	3.892	5.346	3.782	6.284	4.413	3.820	Refletância a 650 nm
Verde550	15.900	12.297	13.983	19.489	14.897	21.873	18.972	21.827	18.086	26.096	21.211	17.834	Refletância a 550 nm
Azul445	1.306	0.982	0.632	1.709	1.537	1.723	1.225	2.478	1.395	1.526	1.024	1.606	Refletância a 445 nm
NDVI (900-680)/(900+680) >	0.891	0.926	0.903	0.883	0.855	0.874	0.880	0.835	0.865	0.872	0.903	0.919	Normalized Difference Vegetation Index
GNDVI (900-550)/(900+550) >	0.442	0.549	0.490	0.494	0.508	0.401	0.449	0.392	0.455	0.358	0.433	0.505	Green Normalized Difference Vegetation Index
SPAD	17.9	32.7	24.4	26.5	26.7	32.6	19.0	19.2	29.8	22.6	19.5	21.5	SPAD = (I650 / I940) sem folha - (I650 / I940) com folha
Intensity (R+G+B)	19.582	14.901	16.697	24.762	20.004	27.036	23.387	28.804	22.980	31.398	24.954	21.718	Intensidade
RPER (R / I)	0.121	0.109	0.125	0.144	0.178	0.127	0.136	0.156	0.152	0.120	0.109	0.105	Percentagem do vermelho
GPER (G / I)	0.812	0.825	0.837	0.787	0.745	0.809	0.811	0.758	0.787	0.831	0.850	0.821	Percentagem do verde
BPER (B / I)	0.067	0.066	0.038	0.069	0.077	0.064	0.052	0.086	0.061	0.049	0.041	0.074	Percentagem do azul
GI (R / B)	1.819	1.652	3.294	2.085	2.323	1.997	2.604	1.816	2.508	2.474	2.655	1.418	Percentagem do vermelho em relação ao azul
PPR (550-450)/(550+450) >	0.848	0.852	0.914	0.839	0.813	0.854	0.879	0.796	0.857	0.890	0.908	0.835	Plant pigment ratio (green - blue) / (green + blue)
PVR (550-650)/(550+650) >	0.613	0.662	0.702	0.641	0.648	0.652	0.660	0.607	0.654	0.612	0.656	0.647	Photosynthetic vigour ratio (green - red) / (green + red)
RB (650-445)/(650+445) >	0.291	0.246	0.534	0.352	0.398	0.333	0.445	0.290	0.430	0.424	0.453	0.173	Red blue simple ratio (red / blue)
PCR (750-550)/(750+550) >	0.455	0.561	0.500	0.496	0.520	0.410	0.459	0.412	0.454	0.361	0.434	0.495	Polymerase Chain Reaction

Quadro 5- Determinação de alguns Índices de Vegetação.

As seis linhas de cima do quadro 5 indicam as refletâncias nos comprimentos de onda que são utilizados nas fórmulas de determinação dos índices.

Exemplos da representação gráfica de alguns desses índices:

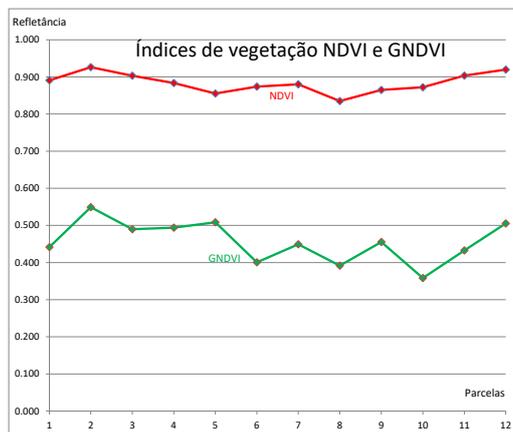


Figura 7- Representação gráfica do NDVI e GNDVI das folhas que representam cada uma das parcelas.



Figura 8- Representação gráfica dos índices das percentagens de RGB relativamente à incidência da radiação.

Os dados determinados relativos aos Índices de Vegetação são os indicados no quadro seguinte.

Folhas	X_DD	Y_DD	NDVI	GNDVI	SPAD	Intensity	RPER	GPER	BPER	(R+G+B)PER	PPR	PVR	RB
F01	-7.737567	41.286644	0.89	0.44	17.9	19.582	0.121	0.812	0.067	1.000	0.848	0.613	0.291
F02	-7.736919	41.286158	0.93	0.55	32.70	14.901	0.109	0.825	0.066	1.000	0.852	0.662	0.246
F03	-7.737156	41.285700	0.90	0.49	24.40	16.697	0.125	0.837	0.038	1.000	0.914	0.702	0.534
F04	-7.739946	41.285703	0.88	0.49	26.50	24.762	0.144	0.787	0.069	1.000	0.839	0.641	0.352
F05	-7.738077	41.285269	0.86	0.51	26.70	20.004	0.178	0.745	0.077	1.000	0.813	0.648	0.398
F06	-7.738153	41.284907	0.87	0.40	32.60	27.036	0.127	0.809	0.064	1.000	0.854	0.652	0.333
F07	-7.737346	41.285045	0.88	0.45	19.00	23.387	0.136	0.811	0.052	1.000	0.879	0.660	0.445
F08	-7.736608	41.284989	0.83	0.39	19.20	28.804	0.156	0.758	0.086	1.000	0.796	0.607	0.290
F09	-7.735757	41.284920	0.86	0.46	29.80	22.980	0.152	0.787	0.061	1.000	0.857	0.654	0.430
F10	-7.735143	41.285758	0.87	0.36	22.60	31.398	0.120	0.831	0.049	1.000	0.890	0.612	0.424
F11	-7.735905	41.285948	0.90	0.43	19.50	24.954	0.109	0.850	0.041	1.000	0.908	0.656	0.453
F12	-7.736139	41.285607	0.92	0.51	21.50	21.718	0.105	0.821	0.074	1.000	0.835	0.647	0.173

Quadro 6- Dados relativos a vários Índices de Vegetação

Depois de determinada a informação relativa às variáveis que interferem com a produção da vinha os seus valores são gravados na folha de cálculo que será utilizada como base de dados pelo programa GIS para se determinar a variabilidade espacial do solo, plantas e meio ambiente. Atendendo ao elevado número de variáveis apenas as que apresentam correlação mais elevada com a produção serão consideradas para se definirem os mapas de prescrição a serem utilizados pelos equipamentos de aplicação modulada (VRT- variable rate technology).

Determinando as correlações dos dados do solo e plantas com os da produção, obtém-se os seguintes valores:

Folhas	X_DD	Y_DD	Cotas	SlpHH2O	SlpHKCl	SIMO	SIP2O5	SIK2O	SIMg	NDVI	Prod
F01	-7.737567	41.286644	456	6.3	5.5	1.4	91	156	32	0.890585	2.8
F02	-7.736919	41.286158	463	6.9	4.8	2	246	192	47	0.926069	3.5
F03	-7.737156	41.285700	466	6.9	4.8	2	246	192	47	0.903007	3.3
F04	-7.739946	41.285703	461	6.2	5.6	1.3	52	128	19	0.883329	2.9
F05	-7.738077	41.285269	466	6.7	5.5	1.5	107	166	13	0.855114	2.8
F06	-7.738153	41.284907	470	6.4	4.8	1.2	152	136	16	0.873854	2.7
F07	-7.737346	41.285045	468	6.5	5	1.5	68	176	13	0.879833	2.6
F08	-7.736608	41.284989	471	6.5	4.7	0.9	54	176	28	0.834723	2.2
F09	-7.735757	41.284920	473	5.9	4.3	1.3	52	152	44	0.864953	1.9
F10	-7.735143	41.285758	471	6.1	4.9	1.5	102	144	25	0.872033	2.2
F11	-7.735905	41.285948	467	5.6	4.3	1.3	142	200	28	0.90339	2.9
F12	-7.736139	41.285607	468	5.6	4.3	1.3	142	200	28	0.919458	2.8
Prod.			-0.625	0.430	0.223	0.685	0.783	0.430	0.225	0.732	1.000

Quadro 7- Correlações entre os dados do solo e o NDVI com os da produção

Como se pode observar no quadro 7, as correlações mais elevadas da produção são com o fósforo, a matéria orgânica e NDVI (azoto); a correlação negativa com as cotas é também significativa mas não é possível a sua utilização para potenciar a produção.

Considerando que os valores de pH são bastante baixos (ver anexo I) é aconselhável a aplicação de calcário para fazer elevar o seu valor por forma a potenciar o efeito dos outros elementos.

Como indicativo para definição das quantidades de cada um dos fatores a aplicar considera-se o valor mais elevado medido numa das parcelas, sendo os restantes obtidos pelo aumento percentual necessário, para se aproximar desse valor.

Folhas	X_DD	Y_DD	Cotas	SlpHH2O	SlpHKCl	SIMO	SIP2O5	SIK2O	SIMg	NDVI	PrKg
F01	-7.737567	41.286644	456	6.30	5.50	1.40	91	156	32	0.89	2.80
F02	-7.736919	41.286158	463	6.90	4.80	2.00	246	192	47	0.93	3.50
F03	-7.737156	41.285700	466	6.90	4.80	2.00	246	192	47	0.90	3.30
F04	-7.739946	41.285703	461	6.20	5.60	1.30	52	128	19	0.88	2.90
F05	-7.738077	41.285269	466	6.70	5.50	1.50	107	166	13	0.86	2.80
F06	-7.738153	41.284907	470	6.40	4.80	1.20	152	136	16	0.87	2.70
F07	-7.737346	41.285045	468	6.50	5.00	1.50	68	176	13	0.88	2.60
F08	-7.736608	41.284989	471	6.50	4.70	0.90	54	176	28	0.83	2.20
F09	-7.735757	41.284920	473	5.90	4.30	1.30	52	152	44	0.86	1.90
F10	-7.735143	41.285758	471	6.10	4.90	1.50	102	144	25	0.87	2.20
F11	-7.735905	41.285948	467	5.60	4.30	1.30	142	200	28	0.90	2.90
F12	-7.736139	41.285607	468	5.60	4.30	1.30	142	200	28	0.92	2.80
Min			456	5.60	4.30	0.90	52	128	13	0.83	1.90
Max			473	6.90	5.60	2.00	246	200	47	0.93	3.50
Med.			467	6.30	4.88	1.43	121.17	168.17	28.33	0.88	2.72
Ref (med)				7.00		2.00	100.00	100.00	150.00		

Quadro 8- Valores mínimos, máximos e médios de diferentes variáveis nas várias folhas da vinha.

Os aumentos percentuais dos fatores para se aproximarem dos valores máximos são os seguintes:

Folhas	X_DD	Y_DD	SlpHH20%	SlpHKCl%	SIMO%	SIP2O5%	SIK2O%	SIMg%	N(NDVI)%
F01	-7.737567	41.286644	10	2	43	170	28	47	4
F02	-7.736919	41.286158	0	17	0	0	4	0	0
F03	-7.737156	41.285700	0	17	0	0	4	0	3
F04	-7.739946	41.285703	11	0	54	373	56	147	5
F05	-7.738077	41.285269	3	2	33	130	20	262	8
F06	-7.738153	41.284907	8	17	67	62	47	194	6
F07	-7.737346	41.285045	6	12	33	262	14	262	5
F08	-7.736608	41.284989	6	19	122	356	14	68	11
F09	-7.735757	41.284920	17	30	54	373	32	7	7
F10	-7.735143	41.285758	13	14	33	141	39	88	6
F11	-7.735905	41.285948	23	30	54	73	0	68	3
F12	-7.736139	41.285607	23	30	54	73	0	68	1
Kg/ha (referência)			4500	4500	5000	200	300	110	225

Quadro 9- Aumentos percentuais de cada variável para se aproximar do seu valor máximo e valores de referência relativos às quantidades a aplicar, em kg/ha.

Os valores indicados na última linha do quadro 9 são valores de referência das quantidades (kg/ha) a aplicar para se iniciar a correção dos vários fatores para que estes se aproximem dos valores máximos determinados anteriormente; os valores de referência são utilizados para, de acordo com a percentagem determinada para cada uma das folhas, se determinar o valor (kg/ha) a aplicar em cada folha.

Ver no anexo IX os valores de referência dos fatores.

Considerando as variações percentuais e os valores de referência as quantidade de cada um dos fatores é a indicado no quadro seguinte

Folhas	X_DD	Y_DD	SlpHH20(kg/ha)	SlpHKCl(kg/ha)	SIMO(kg/ha)	SIP2O5(kg/ha)	SIK2O(kg/ha)	SIMg(kg/ha)	N(NDVI)(kg/ha)
F01	-7.737567	41.286644	429	82	2143	341	85	52	234
F02	-7.736919	41.286158	0	750	0	0	13	0	225
F03	-7.737156	41.285700	0	750	0	0	13	0	231
F04	-7.739946	41.285703	508	0	2692	746	169	162	236
F05	-7.738077	41.285269	134	82	1667	260	61	288	244
F06	-7.738153	41.284907	352	750	3333	124	141	213	238
F07	-7.737346	41.285045	277	540	1667	524	41	288	237
F08	-7.736608	41.284989	277	862	6111	711	41	75	250
F09	-7.735757	41.284920	763	1360	2692	746	95	8	241
F10	-7.735143	41.285758	590	643	1667	282	117	97	239
F11	-7.735905	41.285948	1045	1360	2692	146	0	75	231
F12	-7.736139	41.285607	1045	1360	2692	146	0	75	227

Quadro 10- Quantidade de cada um dos fatores, em kg/ha, a aplicar em cada folha

Os valores 0 no quadro 10 correspondem às folhas onde os valores medidos foram os mais elevados pelo que não se faz aí qualquer aplicação do fator.

Conhecendo a área de cada uma das folhas e as quantidades de fator a aplicar, em kg/ha, determina-se a quantidade a aplicar a cada folha e, pelo seu somatório, à vinha.

Folhas	X_DD	Y_DD	Folha/m ²	SlpHH20(kg/FI)	SlpHKCl(kg/FI)	SIMO(kg/FI)	SIP2O5(kg/FI)	SIK2O(kg/FI)	SIMg(kg/FI)	N(NDVI)(kg/FI)
F01	-7.737567	41.286644	3082	132	25	660	105	26	16	72
F02	-7.736919	41.286158	5296	0	397	0	0	7	0	119
F03	-7.737156	41.285700	3131	0	235	0	0	4	0	72
F04	-7.739946	41.285703	2436	124	0	656	182	41	39	57
F05	-7.738077	41.285269	2751	37	23	459	71	17	79	67
F06	-7.738153	41.284907	1612	57	121	537	20	23	34	38
F07	-7.737346	41.285045	4055	112	219	676	212	17	117	96
F08	-7.736608	41.284989	4230	117	365	2585	301	17	32	106
F09	-7.735757	41.284920	3522	269	479	948	263	33	3	85
F10	-7.735143	41.285758	1941	115	125	324	55	23	19	46
F11	-7.735905	41.285948	2867	299	390	772	42	0	21	66
F12	-7.736139	41.285607	5156	539	701	1388	76	0	38	117

Quadro 11- Quantidade de fator a aplicar a cada folha

A metodologia seguida para determinação da quantidade de fator de produção, no caso presente de fósforo, azoto e matéria orgânica permite ir corrigindo a informação à medida que se obtém mais dados. No que se refere à MO, considerando a dificuldade na sua obtenção e aplicação, a opção deve ser pelo enrelvamento semeado ou natural da entrelinha e não mobilização do solo.

Após a primeira aplicação é fundamental que, passados 2-3 anos, se proceda a novas análises para se verificar as alterações que resultaram procedendo depois a novas correções de acordo com os novos resultados; é possível que perante a nova situação outros fatores possam passar a ter uma correlação que justifique a sua aplicação.

A utilização de um livro de cálculo, utilizando “links” entre as várias folhas, permite obter a atualização da informação quando se altera um dos dados de uma célula, o que é importante para, por exemplo, testar diferentes valores de referência dos fatores de produção tendo em consideração diferentes situações.

Definição das manchas de variabilidade de algumas das variáveis determinadas

Após a recolha de informação sobre o solo, planta e meio ambiente e determinados os fatores com maior impacto na produção procede-se à análise da sua variação espacial.

Representando a variabilidade espacial das cotas das diferentes parcelas, utilizando o método de interpolação IDW (Interpolação pelo inverso da potência das distâncias) e utilizando três classes de intervalos iguais, tem-se:

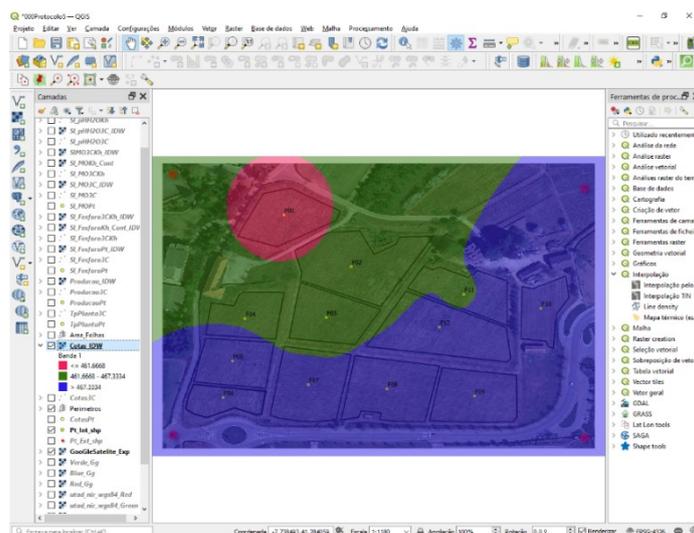


Figura 9- Distribuição espacial das cotas em que a cor vermelha representa valores < 461 m, a verde, valores entre 461 e 467 m e a azul, valores superiores a 467 m.

Relativamente à produção de cada uma das folhas e fazendo a interpolação dos seus valores por forma a obterem-se três classes iguais tem-se:

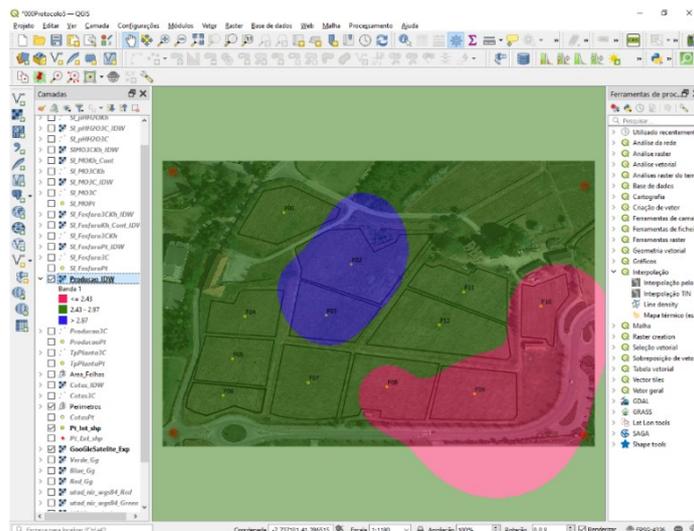


Figura 10- Distribuição da produção em três classes de igual valor

Como se pode observar na figura 10 é, maioritariamente, nas folhas 2 e 3 que os valores da produção são mais elevados sendo os mais baixos nas folhas 8,9 e 10.

No que se refere aos fatores de produção, depois de determinadas quantidades (kg/ha) a aplicar no ponto interior georeferenciado em cada folha da vinha é necessário proceder à sua interpolação para se conhecer a variabilidade em toda a sua área.

Relativamente a esta operação consideram-se duas opções, uma em que não se dispõe de equipamento VRT que permite variar em contínuo a distribuição do fator em causa (situação 1), mas apenas de equipamentos convencionais de regulação prévia e, uma segunda (situação 2), em que dispões de equipamentos VRT para aplicação variada do fator de produção.

Para a situação 1, a opção será definir 2- 3 classes iguais, identificar as folhas que maioritariamente são abrangidas por essas manchas e fazer a regulação manual para cada conjunto de folhas “cobertas” por essas manchas, obtendo-se um mapa de distribuição como o indicado na figura 11.

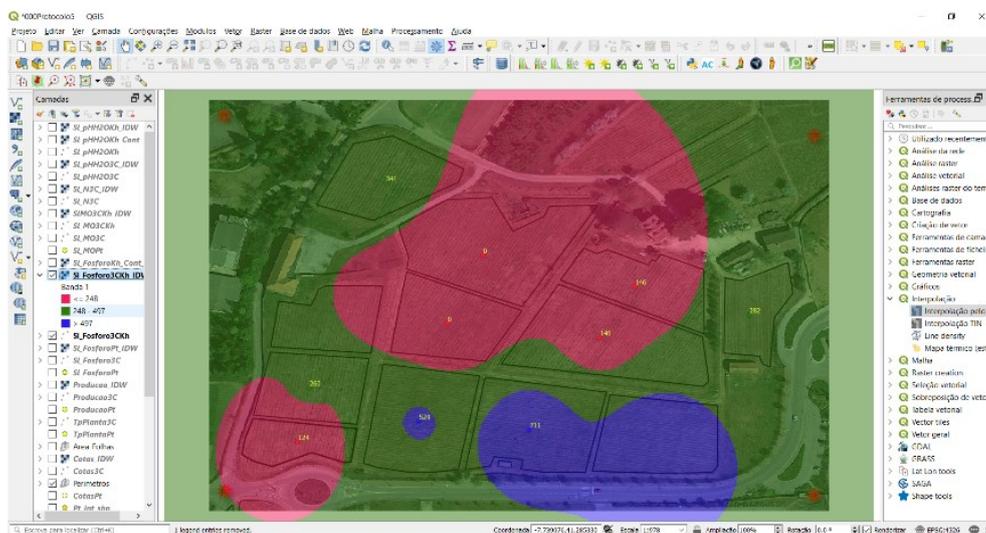


Figura 11- Determinação de três níveis de aplicação de fósforo na vinha.

Nesta situação nas folhas 2,3, 6, 11 e 12 regula-se o equipamento para aplicar ± 250 kg/ha, nas folhas 1, 4, 5, 7, e 10 aplicam-se ± 500 kg/ha e nas folhas 8 e 9 ± 750 kg/ha.

Para a situação 2, a distribuição é contínua pois o equipamento muda o débito de acordo com os valores de cada ponto georeferenciado; nesta situação, na simbologia o “Tipo de render” pode ser a banda única cinza, que permite ver a variabilidade da distribuição traduzida pelos diferentes tons de cinza, ou utilizar a interpolação linear e o modo contínuo, selecionando na rampa de cores a cor desejada ou o “Spectral” para que os valores mais baixos sejam representados em tons de vermelho e os mais altos de azul.

Em ambas as situações para se conhecer a quantidade de fator referente a cada ponto georeferenciado utiliza-se a ferramenta “Identificar elementos”.

Relativamente à matéria orgânica, a aplicação de estrume, caso esteja disponível e seja possível a sua aplicação, a quantidade a aplicar, em kg/ha, em três níveis iguais é a representada na figura 13.

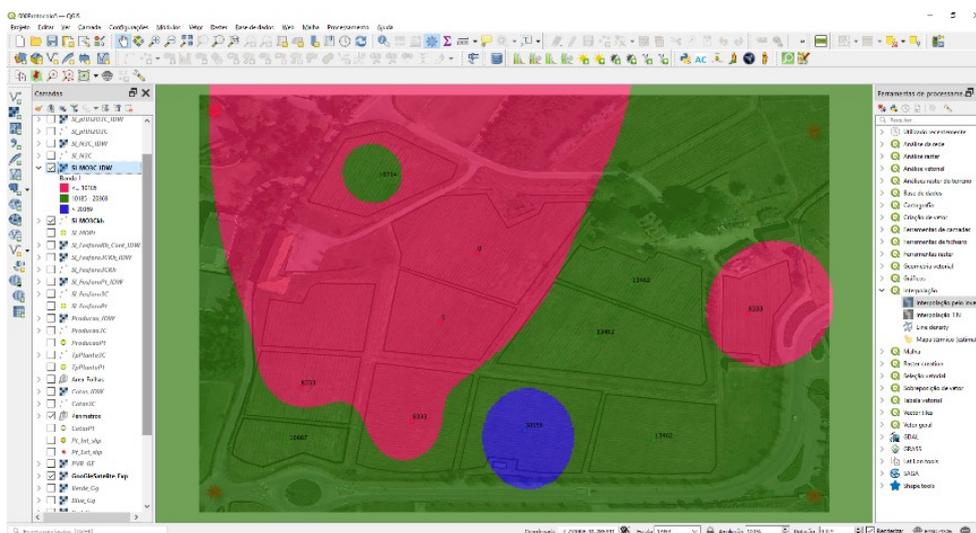


Figura 13- Determinação de três níveis de aplicação de estrume à vinha.

A mancha vermelha corresponde a valores inferiores a 10185 kg/ha, a verde a valores compreendidos entre 10185 e 20369 e a azul a valores superiores a este último.

Considerando o azoto a aplicar tem-se, utilizando três classes iguais, a seguinte distribuição:

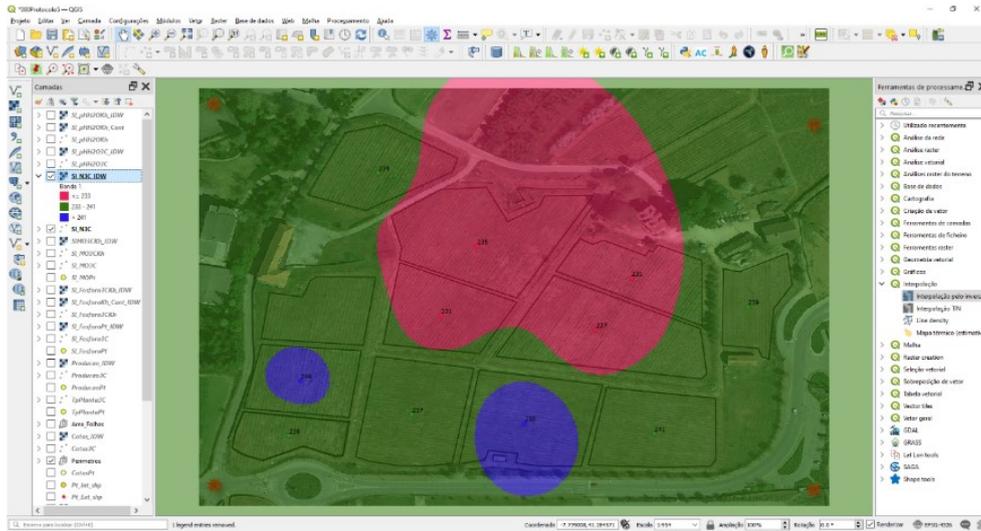


Figura 14- Determinação de três níveis de aplicação de azoto à vinha.

A mancha vermelha representa a zona onde se aplicam ± 235 kg/ha, a verde ± 240 (233 - 241) e a azul ± 245 kg/ha. Comparando o mapa da distribuição da produção com os de aplicação de fósforo, azoto e matéria orgânica verifica-se que a cor azul (valores mais elevados) da produção corresponde às manchas vermelhas dos fatores, ou seja, às zonas onde a quantidade de fósforo, azoto e matéria orgânica a aplicar é mais baixa.



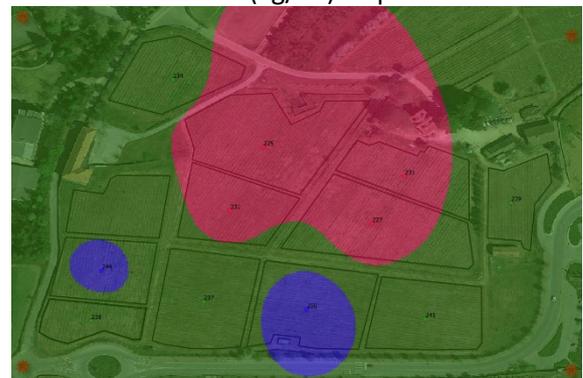
Distribuição da produção



Fósforo (kg/ha) a aplicar



MO (kg/ha) a aplicar



N (kg/ha) a aplicar

Figura 15- Manchas representativas de três níveis de produção (kg/planta) e produtos a aplicar (kg/ha).

Depois da primeira “correção” dos fatores de produção e em face dos resultados obtidos é possível que estes não se traduzam num acréscimo significativo da produção podendo mesmo a aplicação destes nas zonas de maior produção conduzem a acréscimos superiores aos observados nas outras parcelas da vinha.

No que se refere ao pH do solo, figura 16, e considerando que os seus valores são bastante baixos será aconselhável proceder à aplicação de calcário pelo que se opta pela definição de três níveis como se apresenta na figura.

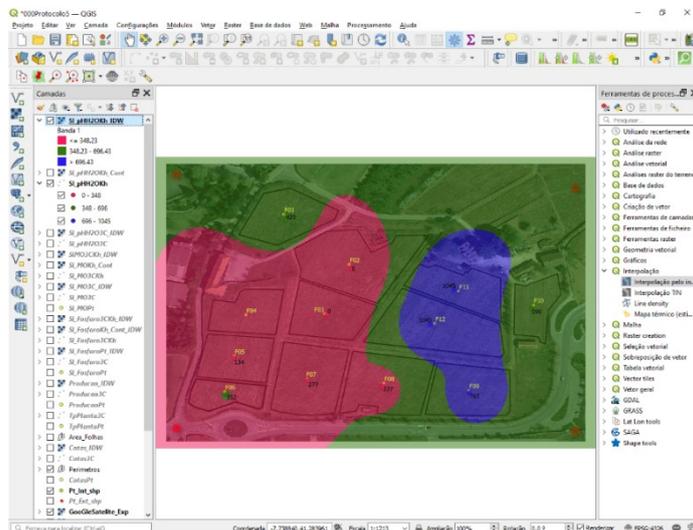


Figura 16- Definição de três manchas para aplicação de calcário ao solo

De acordo com esta distribuição pode-se optar por aplicar ± 350 kg/ha nas folhas maioritariamente a vermelho e ± 700 kg/ha na restante área.

Utilização de dados raster para análise da distribuição espacial da vinha

A utilização de imagens RGB, obtidas por drones, para determinação de vários índices de vegetação, nomeadamente o PVR - Photosynthetic vigour ratio = $(550-650)/(550+650)$, permite obter imagens semelhantes às representadas na figura 17, onde as zonas mais escuras representam o maior vigor das videiras e as mais claras o solo, acessos e construções.

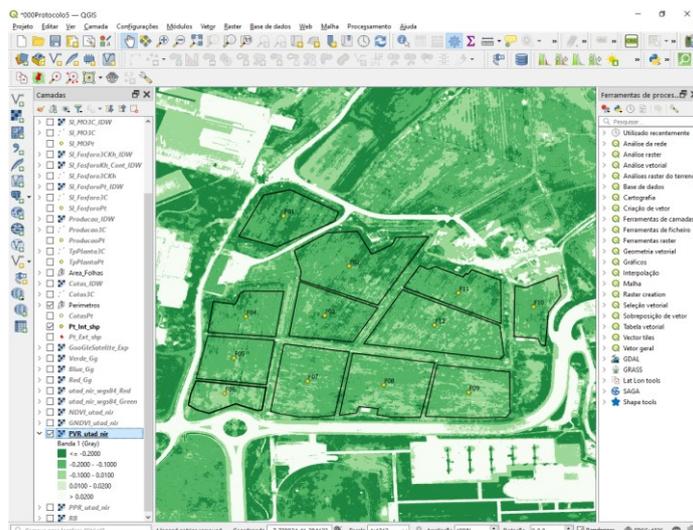


Figura 17- Imagem da distribuição do índice PVR da vinha

A utilização de imagens CIR- colour infrared, obtidas por drones, permitem, igualmente, determinar índices de vegetação, nomeadamente o NDVI- Normalized Difference Vegetation Index = $(900-680)/(900+680)$, que fornecem informações sobre os vários elementos do albedo e sobre o estado vegetativo das culturas.

Assim, determinando este índice (ferramenta raster, calculadora de rasters), tem-se:

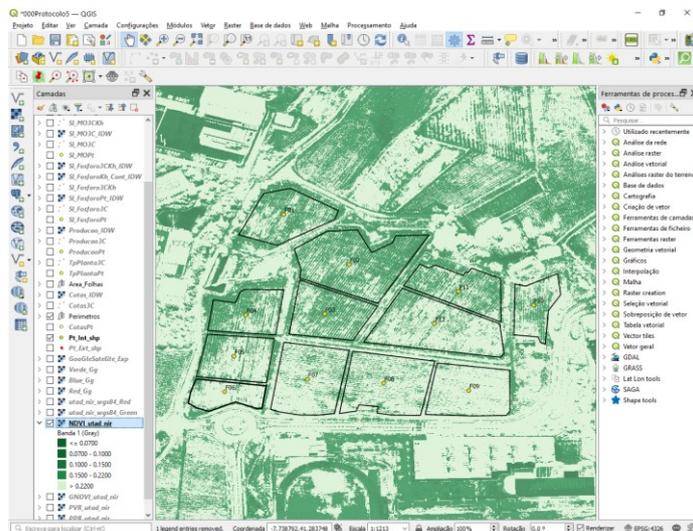


Figura 18- Imagem da distribuição do NDVI da vinha

Como se pode observar na figura 15 as zonas a verde escuro representam as plantas com maior vigor vegetativo sendo o solo apresentado com a tonalidade mais clara.

Comparando as duas imagens dos índices de vegetação, PVR (imagem RGB) e NDVI (imagem CIR), verifica-se que é nas folhas 1, 2 e 3 que as videiras apresentam maior vigor sendo nestas duas últimas que a produção é mais elevada. Na impossibilidade de dispor de imagens aéreas pode-se sempre utilizar imagens do GE que poderão dar indicações importantes sobre a ocupação do solo e estada das culturas. Assim, por exemplo, determinando o PVR a partir dessas imagens, obtém a seguinte distribuição espacial deste índice.

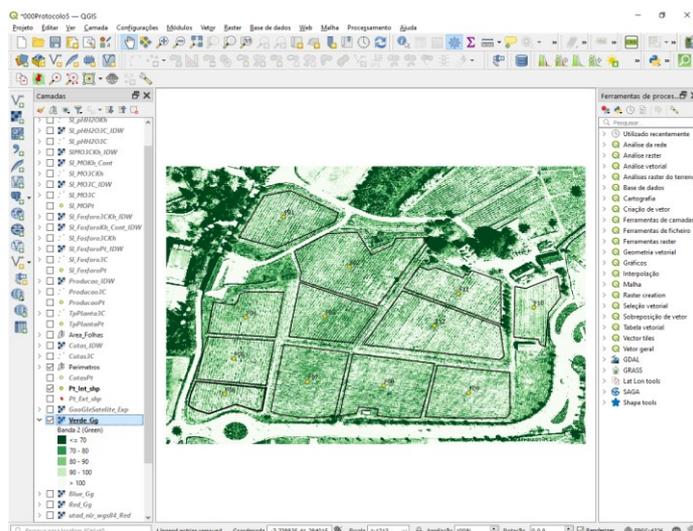


Figura 19- Variação espacial do índice PVR obtido da imagem do GE

Comparando a imagem do índice PVR (figura 19) obtido da imagem do GE e a imagem PVR (figura 17) obtida a partir de um drone verifica-se um paralelismo no que se refere ao vigor da vinha.

Conclusões

A informação apresentada neste texto de apoio às aulas de Agricultura e Precisão deve ter em consideração as limitações existentes, nomeadamente a não disponibilidade de dados intra-folhas, pelo que cada uma delas é caracterizada por um ponto georeferenciado “no meio” da folha, a falta de dados importantes, nomeadamente as relativas à análise das plantas, a presença de várias castas em cada uma das folhas, o não se dispor de programas de apoio à decisão e outras.

Assim, mais que a quantificação da informação, pretende-se apresentar a metodologia que permite definir as quantidades dos fatores de produção com maior correlação com os dados da produção para, gradualmente, se irem corrigindo os seus valores para se verificar o seu impacto no acréscimo desta última.

A utilização de dados de referência e a utilização de folhas de cálculo, permitem a utilização contínua dos dados, para se irem definindo as quantidades de fatores a aplicar. A criação de um histórico com os dados iniciais e os resultantes das várias intervenções permitirá uma aproximação à situação que maximizará os objetivos a alcançar.

Anexo I- Classificação dos solos quanto ao pH

pH (H ₂ O)	Classificação do solo
< 4.5	Muito ácido
4.6 - 5.5	Ácido
5.6 - 6.5	Pouco ácido
6.6 - 7.5	Neutro
7.6 - 8.5	Pouco alcalino
8.6 - 9.5	Alcalino
> 9.5	Muito alcalino

Fonte: J. Quelhas dos Santos. Fertilização - Fundamentos da utilização dos adubos e corretivos.

Anexo II- Classificação dos solos quanto ao teor de matéria orgânica

% de M.O.		Classificação
Solos ligeiros	Solos médios e pesados	
< 0.5	< 1.0	Muito baixo
0.6 - 1.5	1.1 - 2.0	Baixo
1.6 - 5.0	2.1 - 7.0	Médio
5.1 - 10.0	7.1 - 15.0	Alto
> 10.0	> 15.0	Muito alto

Fonte: J. Quelhas dos Santos. Fertilização - Fundamentos da utilização dos adubos e corretivos.

Anexo III- Classificação dos solos quanto ao teor de fósforo assimilável

P ₂ O ₅ (mg/Kg)	Classificação do solo
< 25	Muito baixo
26 - 50	Baixo
51 - 100	Médio
101 - 200	Alto
> 200	Muito alto

Fonte: J. Quelhas dos Santos. Fertilização - Fundamentos da utilização dos adubos e corretivos.

P ₂ O ₅ (mg/Kg)	Classificação do solo
< 20	Muito pobre
26 - 40	Pobre
40 - 80	Suficiente
80 - 120	Rico
> 120	Muito rico

Fonte: João Coutinho. Notas do Curso de Mestrado em Fitotecnia, Opção Viticultura

Anexo IV-I- Classificação dos solos quanto ao teor de potássio assimilável

K ₂ O (mg/Kg)	Classificação do solo
< 25	Muito baixo
26 - 50	Baixo
51 - 100	Médio
101 - 200	Alto
> 200	Muito alto

Fonte: J. Quelhas dos Santos. Fertilização - Fundamentos da utilização dos adubos e corretivos.

Anexo IV-II- Classificação dos solos quanto ao teor de potássio assimilável

K ₂ O (mg/Kg)	Classificação do solo
< 60	Muito pobre
60 - 120	Pobre
120 - 200	Suficiente
200 - 300	Rico
> 300	Muito rico

Fonte: João Coutinho. Notas do Curso de Mestrado em Fitotecnia, Opção Viticultura

Anexo V- Classificação dos solos quanto ao teor de cálcio assimilável

Ca (mg/Kg)	Classificação do solo
< 1000	Muito pobre
1000 - 2000	Pobre
2000 - 20000	Suficiente
20000 - 30000	Rico
> 30000	Muito rico

Fonte: João Coutinho. Notas do Curso de Mestrado em Fitotecnia, Opção Viticultura

Anexo VI- Classificação dos solos quanto ao teor de magnésio assimilável

Mg (mg/Kg)	Classificação do solo
< 75	Muito pobre
75 - 150	Pobre
150 - 300	Suficiente
300 - 450	Rico
> 450	Muito rico

Fonte: João Coutinho. Notas do Curso de Mestrado em Fitotecnia, Opção Viticultura

Anexo VII_I- Classificação dos solos quanto ao teor de boro

B (ppm)	Classificação do solo
< 0.4	Baixo
0.4 - 1.0	Médio
> 1.0	Alto

Fonte: J. Quelhas dos Santos. Fertilização - Fundamentos da utilização dos adubos e corretivos.

Anexo VII_II- Teores de Boro aconselhados, em função da reação do solo

pH (KCl)	B (mg/Kg)
< 4,5	1,5 - 4,0
4,5 - 5,5	0,7 - 1,5
5,5 - 6,5	0,6 - 0,8
6,5 - 7,5	0,7 - 1,2
7,5 - 8,5	1,2 - 2,0
8,5 - 9,5	1,0 - 2,0

Fonte: João Coutinho. Notas do Curso de Mestrado em Fitotecnia, Opção Viticultura

Anexo VIII- Teores de nutrientes considerados satisfatórios nas videiras

Macronutrientes	Quantidade (%)	Micronutrientes	Quantidade (ppm)
Azoto	2.5	Manganês	30 - 200
Fósforo	0.4	Zinco	30 - 150
Potássio	1.6	Cobre	5 - 20
Cálcio	4.0	Boro	25 - 40
Magnésio	0.4		

Fonte: J. Quelhas dos Santos. Fertilização - Fundamentos da utilização dos adubos e corretivos.

Anexo IX- Dados de referência

Vinha					Vinha				
Dados / Solo	Min	Max	Méd	Identificação	Dados / Planta	Min	Max	Méd	Identificação
Solo:					Plantas (0621):				
pHH ₂ O	4.3	6.8	5.5	pH em água	N(g kg ⁻¹)	19.5	28.8	24.2	azoto
pHKCl	2.6	5.5	4.1	pH em KCl	P(g kg ⁻¹)	1.4	2.5	1.9	fósforo
MO %	0.1	1.6	0.9	matéria orgânica	K(g kg ⁻¹)	2.8	16.8	9.8	potássio
extracção Egner-Riehm (mg P ₂ O ₅ /kg)	12.4	352.4	182.4		Ca(g kg ⁻¹)	12.1	26.5	19.3	cálcio
extracção Egner-Riehm (mg K ₂ O/kg)	32.0	98.0	65.0		Mg(g kg ⁻¹)	1.7	9.2	5.5	magnésio
Ca (cmol+/kg)	2.4	17.4	9.9	cálcio	B(mg kg ⁻¹)	7.1	108.5	57.8	boro
Mg (cmol+/kg)	0.3	3.3	1.8	Mmagnésio	Fe(mg kg ⁻¹)	60.0	281.0	170.5	ferro
K (cmol+/kg)	0.1	0.2	0.1	potássio	Cu(mg kg ⁻¹)	4.3	17.5	10.9	cobre
Na (cmol+/kg)	0.0	0.4	0.2	sódio	Zn(mg kg ⁻¹)	13.0	63.0	38.0	zinco
AT (cmol+/kg)	0.0	1.0	0.5	Acidez de Troca; idêntica à quantidade de Alumínio (Al) no solo	Mn(mg kg ⁻¹)	77.0	256.0	166.5	molibnéio
SBT (cmol+/kg)	3.3	18.4	10.8	Somatório das Bases de Troca (Ca + Mg + K + Na)					
CTCe (cmol+/kg)	4.2	19.2	11.7	Capacidade de Troca Catiónica efectiva = SBT + AT (Permite determinar a necessidade de calagem)	Plantas (0724):				
GSSe (%)	77.8	100.0	88.9	Grau de Saturação em Bases efectiva = (SBT/CTCe) * 100 Para valores < 80% efectuar uma calagem	N(g kg ⁻¹)	19.5	25.4	22.5	azoto
B ext H ₂ O (mg / kg)	0.1	1.7	0.9	Boro extraível (pelo método de extracção em água fervente)	P(g kg ⁻¹)	1.3	1.9	1.6	fósforo
...					K(g kg ⁻¹)	1.4	9.5	5.4	potássio
Correções/solo					Ca(g kg ⁻¹)	9.0	23.5	16.2	cálcio
P ₂ O ₅ (kg/ha)	150.0	250.0	200.0	Super 18 (750 kg/há) Super 18 (1250 kg/há)	Mg(g kg ⁻¹)	2.6	10.2	6.4	magnésio
K ₂ O(kg/ha)	250.0	350.0	300.0	Cloreto de Potássio	B(mg kg ⁻¹)	16.0	78.2	47.1	boro
pHH ₂ O (kg/ha)	3000.0	6000.0	4500.0	Calcáreo	Fe(mg kg ⁻¹)	132.0	338.0	235.0	ferro
pHKCl (kg/ha)	3000.0	6000.0	4500.0	Calcáreo	Cu(mg kg ⁻¹)	2.3	8.4	5.4	cobre
N (kg/ha)	200.0	250.0	225.0	Nitromagnésio 20.5	Zn(mg kg ⁻¹)	9.0	29.0	19.0	zinco
Ca (kg/ha)	4000.0	6000.0	5000.0	Calcáreo	Mn(mg kg ⁻¹)	82.0	267.0	174.5	molibnéio
Mg (kg/ha)	100.0	120.0	110.0	Sulfato de Magnésio					
Boro (kg/ha) (Borax)	0.5	1.5	1.0	5 kg/ha 15 kg/ha					
MO - estrume (kg/ha)	20000	30000	25000						

Fonte: F. Santos. Les NTIC au service du conseil et des Reseaux Agricoles de l' ArcAtlantique - Agriculture de précision et offre de services en ligne