

Propostas para o ordenamento na instalação de culturas agrícolas com base em cartas de aptidão natural para a região Norte de Portugal

Proposals for Planning the Installation of Agricultural Crops Based on Natural Suitability Charts for the Northern Region of Portugal

Bruno Leitão^{1,2,3,*}, José Vieira¹, Joaquim Alonso^{3,4}, Renato Silva^{3,4} e Hugo Gomes⁴

¹Comissão de Coordenação e Desenvolvimento Regional do Norte, I.P., Porto, Portugal

²Instituto de Ciências da Terra (ICT) Polo de Braga, Braga, Portugal

³PROMETHEUS, Research Unit on Materials, Energy and Environment for Sustainability, Viana do Castelo, Portugal

⁴Escola Superior Agrária, Instituto Politécnico de Viana do Castelo, Ponte de Lima, Portugal

(*E-mail: bruno.leitao@ccdr-n.pt)

<https://doi.org/10.19084/rca.41951>

Received/received: 2025.06.09

Aceite/accepted: 2025.07.21

RESUMO

A região Norte de Portugal acolhe uma grande diversidade de contextos socioeconómicos e condições edafoclimáticas que a tornam rica e diversa em aptidão natural para a instalação e desenvolvimento de culturas agrícolas. Porém, as decisões dos agricultores na escolha das culturas agrícolas a desenvolver, sobretudo dos novos agricultores, nem sempre se baseiam no saber local ou técnico e são cada vez mais descontextualizadas da real aptidão do território, cingindo-se a condições empresariais e a tendências de investimento, conduzindo a fracassos por desadequação entre a escolha da cultura e as condições dos locais para a instalar. As cartas de aptidão têm um importante valor no ordenamento da produção e ajuste aos fatores biofísicos, socioeconómicos, administrativos e legais, podendo contribuir para uma melhoria no sucesso de novas plantações e numa utilização mais eficiente dos recursos naturais. Este trabalho teve como objetivos desenvolver uma metodologia com base em Sistemas de Informação Geográfica (SIG) para modelar a aptidão natural para importantes culturas (vinha, olival, kiwi e milho) na Região Norte, testando a sua validade a partir de informação geográfica existente.

Palavras-chave: Agricultura, Planeamento, Potencial Agrícola, Carta de Aptidão Agrícola

ABSTRACT

The North region of Portugal hosts a great diversity of socioeconomic contexts and soil-climatic conditions that make it rich and diverse in natural aptitude for the installation and development of agricultural crops. However, farmers' decisions when choosing which agricultural crops to develop, especially those of new farmers, are not always based on local or technical knowledge and are increasingly out of context with the real suitability of the territory, being limited to business conditions and trends in investment, leading to failures due to a mismatch between the choice of culture and the conditions of the places to install it. Crop aptitude charts have an important value in ordering production and adjusting it to biophysical, socioeconomic, administrative and legal factors, and can contribute to an improvement in the success of new plantations and a more efficient use of natural resources. This work aimed to develop a methodology based on Geographic Information Systems (GIS) to model the natural suitability for important crops (vineyards, olive groves, kiwi and corn) in the Northern Region of Portugal, testing its validity based on existing geographic information.

Keywords: Agriculture, Planning, Agricultural Potential, Crop Aptitude Chart.

INTRODUÇÃO

A utilização dos SIG no planeamento regional, em particular no ordenamento das atividades humanas, na qual a agricultura se insere, é um fator indispensável para a melhoria da gestão do território e utilização eficiente dos recursos naturais.

As cartas de aptidão de culturas agrícolas podem ser utilizadas para suportar decisões de políticas públicas agrícolas (ambientais ou de apoio ao mercado), para o planeamento e gestão do território, para apoio à decisão dos agricultores (Abreu *et al.*, 2015; Chivasa *et al.*, 2019), para determinar o valor da terra (Gomes & Santos, 2005), ou direcionar/racionalizar a produção agrícola regional/nacional no sentido de aumentar a produtividade, como estratégia de adaptação às alterações climáticas ou otimização na utilização dos recursos naturais (Abreu *et al.*, 2015).

O Ministério da Agricultura, Floresta e Pecuária da República da Guiné-Bissau (RSeT, 2017) usou a Zonagem Agroecológica (ZAE) como uma forma de colmatar a falta de dados e informação para o planeamento e tomada de decisão. Através do projeto EU-ATIVA desenvolveram-se cartas de aptidão agroecológica para 18 culturas, destinadas sobretudo aos organismos oficiais (nacionais e regionais) com capacidade técnica de intervenção e de planeamento e às agências internacionais que desenvolvem projetos agrícolas no país. O objetivo da ZAE foi de aumentar o conhecimento e produzir informação espacial de apoio a um diagnóstico, com perspetiva estratégica, para Planos de Desenvolvimento Regional Agrícola, tendo por base uma metodologia espaciotemporal, que define zonas, com resolução espacial de 1 Km, que conjugam características biofísicas e climáticas mais adequadas às culturas agrícolas em estudo.

Barros *et al.* (2019) recorreu à análise multicritério para classificar a aptidão agrícola dos solos do município de Itaberá (108.863 ha) no estado de São Paulo, Brasil, para a cultura do milho e soja. Na identificação dos fatores relativos aptidão agrícola foram usadas fontes bibliográficas e consulta de especialistas nas áreas de conservação do solo e topografia, sendo identificados quatro fatores relevantes (tipo de solo, declive, temperatura e pluviosidade). Para determinar o peso de cada fator foi

usada a análise multicritério, num Processo Hierárquico Analítico (AHP), metodologia desenvolvida por Saaty (1977, 1987). Neste processo, os fatores foram confrontados par-a-par para determinar a importância entre eles, estabelecendo uma matriz quadrada de ordem n (número de fatores), sendo obtida uma carta de aptidão coerente e fiável.

Também Chivasa *et al.* (2019), com o recurso ao AHP numa análise multicritério, com 24 fatores agrupados em 4 critérios (pluviosidade, tipo de solo, temperatura e declive), determinou a aptidão da terra no Zimbabué para o cultivo de milho, apurando uma correlação positiva significativa entre o rendimento do milho e os índices de aptidão da cultura.

Na província de Khuzestan, Irão, Albaji *et al.* (2009) avaliou e comparou a aptidão do solo para culturas relevantes na região (trigo, alfafa, milho e cevada). Na avaliação da aptidão qualitativa do solo, as suas propriedades foram comparadas com os requisitos da planta. Para classificar a aptidão, utilizaram-se a limitação simples e métodos paramétricos (método da raiz quadrada). O método de limitação simples compara os requisitos da planta com as características qualitativas e climáticas do local e as características mais limitantes definem a classe de aptidão do solo, por seu lado, no método paramétrico as características do solo e do clima foram definidas usando classificações diferentes.

Em Portugal, a Empresa de Desenvolvimento e Infraestruturas de Alqueva (EDIA) disponibiliza o Sistema de Apoio à Determinação da Aptidão Cultural (SISAP) cujo objetivo é a determinação, para uma área específica, da aptidão de uma ou mais culturas, de acordo com uma chave de classificação em quatro classes ("Aptidão elevada", "Aptidão moderada", "Aptidão reduzida" e "Aptidão nula") (Gomes & Santos, 2005). Encontra-se disponível informação de aptidão de 5 culturas (cebola, melão, milho grão, olival de regadio e tomate) para 18 concelhos, com base em dados do solo (pH, espessura, condutividade, textura e hidromorfismo), da topografia (declive) e da meteorologia (temperatura mínima, temperatura máxima, integrais térmicos, precipitação, geadas e nº de horas de frio).

À escala nacional, Abreu *et al.* (2015) utilizou o sistema GAEZ (Global Agro-ecological Zones), um

sistema muito completo e poderoso, que permite analisar cenários de alteração climática e ZAE à escala global ou regional, permitindo obter informação detalhada para usar num planeamento fundamentado e para apoiar decisões para promover o desenvolvimento agrícola.

Relativamente ao olival no nordeste de Portugal, Pires (2021) elaborou uma zonagem agroecológica e um modelo de distribuição de espécie de modo a replicar as áreas mais adequadas para a cultura e que explicam a sua distribuição em 1 527 locais no período de 1995-2018. Com base em dados bioclimáticos da plataforma CHELSEA (resolução de 1 Km), Pires (2021) utilizou uma análise de componentes principais e uma análise multivariada de cluster (ISO Cluster) para obter 8 zonas homogéneas para o olival na região nordeste. Para o modelo de distribuição de espécies utilizou o biomod2 - R package o que permitiu identificar os indicadores bioclimáticos mais relevante e fazer projeções face aos cenários de alterações climáticas.

Um dos fatores importantes para melhoria e adequabilidade dos modelos de aptidão da terra prende-se com a integração nas análises multicritérios de dados de produtividades, avaliação comparativa do desempenho de sistemas de produção, de análises custo-benefício, de avaliação de impacte ambiental e avaliação ambiental estratégica, conforme sugerido em Abreu *et al.* (2015).

No Vale do Côa, com o intuito de avaliar os impactos das alterações climáticas sobre as principais culturas agrícolas, por intermédio do projeto Co-ClimateRisk, Fraga *et al.* (2023) desenvolveram uma zonagem de alta resolução espacial (1 km) para apurar a atual e futura adequação das culturas agrícolas à região e através de modelos dinâmicos de culturas avaliar o impacto na produtividade. No caso da vinha e do olival, os resultados da modelação indicam que, no período recente (1981-2005), existiu uma boa correspondência entre as principais áreas de produção e a sua produtividade, havendo também uma consonância entre essas áreas e a atual ocupação do solo com essas culturas. Porém, nas projeções para o futuro (2041-2070) e aplicados os cenários de alterações climáticas, são esperadas quebras moderadas na produtividade da vinha, sendo que, no caso do olival, o aumento das temperaturas em zonas de maior altitude, poderá

melhorar a aptidão nessas áreas, estando a cultura mais adaptada aos cenários climáticos futuros.

Mendes *et al.* (2019) desenvolveram uma zonagem agro-ecológica e de aptidão natural para a vinha, à escala da parcela, nas sub-regiões vitivinícolas de Monção e Melgaço e do Lima, pertencentes à região dos Vinhos Verdes. Este trabalho baseou-se em dados administrativos, estatísticos, climáticos, geológicos, edáficos, fisiográficos, hidrológicos, de unidades naturais, vegetação, e ocupação e uso do solo. A integração destes dados foi realizada através de algoritmos de agrupamento multivariado, permitindo identificar unidades agroecológicas homogéneas e delimitar o *terroir* para a produção vitícola em cada sub-região, num enquadramento regional.

MATERIAL E MÉTODOS

Este trabalho visou o desenvolvimento de uma metodologia com base em SIG, para modelar a aptidão natural de culturas importantes (vinha, olival, kiwi e milho) na região Norte, testando a sua validade a partir de informação geográfica existente indicativa da presença das culturas.

A área de estudo foi a NUT II Norte no caso do olival, kiwi e milho e a sub-região vitivinícola de Valpaços (região demarcada de Trás-os-Montes, sub-região de Valpaços) no caso da vinha.

Em termos gerais, a metodologia encontra-se estruturada em quatro fases distintas. Na primeira fase, foram selecionadas as variáveis com maior capacidade explicativa da presença das culturas na região, através de um estudo de correlação (teste de *wilcox*). Na segunda fase, os valores dessas variáveis foram desagregados em intervalos, por quartis de 5, 10 ou 15 classes, consoante a amplitude de valores, e agregados em classes, por áreas de maior (aptidão elevada), a menor presença (aptidão baixa). Na terceira fase, os resultados de todas as variáveis foram somados e estabelecidos quatro quartis de aptidão (aptidão elevada, aptidão média, aptidão baixa, aptidão nula/residual). Por último, na quarta fase, as cartas resultantes foram comparadas com a presença das culturas analisadas (informação do parcelário agrícola em dados abertos), permitindo assim, ter uma aferição da

adequabilidade das cartas à respetiva cultura na região.

Seleção das variáveis biofísicas mais relevantes para a presença das culturas

Com base em informação geográfica de 94 variáveis biofísicas (solo, clima e topografia) de diversas fontes abertas de dados geográficos (WorldClim¹, ESDAC², DGT, IFAP, etc.), foram selecionadas as variáveis que diferenciam cada uma das culturas, analisando a sua adequação ao nível regional, partindo da sua distribuição.

As variáveis biofísicas foram submetidas a um estudo de correlação (teste de Wilcox) para determinar as que apresentavam menor correlação entre si (Figura 1). A utilização deste teste estatístico teve como objetivo não sobreestimar a influência de umas variáveis sobre as outras, escolhendo assim as que apresentaram menor correlação entre si.

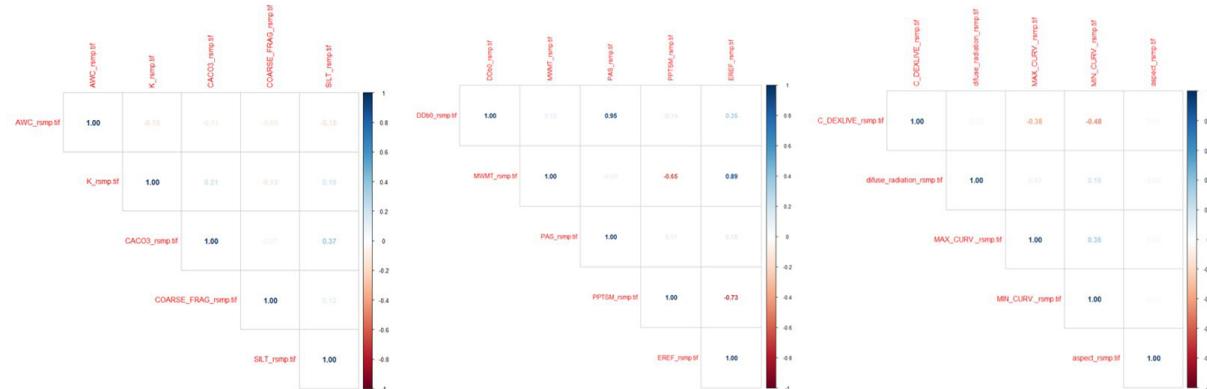


Figura 1 - Correlação das variáveis para o milho (solo, clima e topografia).

A realização do estudo das variáveis a utilizar para cada cultura, visou orientar a seleção, para cada cultura, de acordo com uma maior capacidade de explicar a sua presença na área de estudo. Desta modo foram identificadas 15 variáveis para a vinha, milho e kiwi e 17 variáveis para o olival, conforme apresentado no Quadro 1.

¹ Fick, S. & Hijmans, R. (2017)

² Hiederer, R. (2013a, 2013b)

Definição de classes de aptidão com base na área da cultura

Através de um conjunto de operações SIG, as variáveis biofísicas previamente selecionadas através do teste de Wilcox, foram analisadas em cada cultura, numa assinatura específica para a região, ou no caso da vinha para a sub-região vitivinícola.

As operações descritas na Figura 2, correspondem ao tratamento das variáveis biofísicas para ajustar a adequabilidade à variabilidade que apresentam na área de estudo (1), sobrepor com os locais onde existem as culturas agrícolas (2), analisar a variabilidade regional das variáveis para a cultura (3) e identificar as áreas na região Norte (4).

Numa operação inicial de tratamento de dados, as variáveis selecionadas através do teste estatístico, foram desagregadas em quartis (5, 10 ou 15), conforme a extensão do intervalo de dados ou critério técnico (por exemplo, a orientação teve apenas

quatro pontos cardinais e as áreas planas). Esta desagregação por quartis, permitiu de forma proporcional, analisar a dispersão dos valores da variável tendo em consideração a sua variabilidade para a região Norte.

Em seguida, a informação foi convertida de formato *raster* para polígono, com o objetivo de realizar uma interceção com uma *layer* com a localização

Quadro 1 - Variáveis utilizadas por culturas agrícolas

Variável	Fonte	Unidade	Tipo	Vinha	Olival	Milho	Kiwi
Água disponível no solo	AWC	ESDAC	%	Solo		✓	✓
Altura do declive	SLOPE_HEIGHT	DGT/MDT*	Metros	Topografia	✓	✓	✓
Capacidade catiônica do solo	CEC	ESDAC	cmol·kg ⁻¹	Solo	✓	✓	✓
Comprimento do declive	C_DECLIVE	DGT*	Metros	Topografia	✓	✓	✓
Curvatura máxima	MAX_CURV	DGT*	%	Topografia	✓	✓	✓
Curvatura mínima	MIN_CURV	DGT*	%	Topografia	✓	✓	✓
Diferença de temperatura entre o mês +quente e o + frio	TD	WoldClim	°C	Clima	✓	✓	✓
Evapotranspiração de ref. método Hargreaves-Samani	EREF	WoldClim	mm/ano	Clima	✓	✓	✓
Exposição ao vento	WIND_EXP	DGT*		Clima	✓	✓	✓
Exposição solar	aspect	DGT*		Clima	✓	✓	✓
Graus dia abaixo de 0°C	DB0	WoldClim	°C/dia	Clima	✓	✓	✓
Índice de continentalidade composto	IC	WoldClim**		Clima	✓	✓	✓
Nível de carbonato de cálcio	CACO3	ESDAC	mg/kg	Solo	✓	✓	✓
Percentagem de elementos grosseiros	COARSE	ESDAC	%	Clima	✓	✓	✓
Precipitação c/neve (mm) entre agosto (n-1) e julho (n)	PAS	WoldClim	mm	Clima	✓	✓	✓
Precipitação na primavera	PPTSP	WoldClim	mm	Clima	✓	✓	✓
Precipitação no inverno	PPTWT	WoldClim	mm	Clima	✓	✓	✓
Precipitação no outono	PPTAT	WoldClim	mm	Clima	✓	✓	✓
Precipitação no verão	PPTSM	WoldClim	mm	Clima	✓	✓	✓
Radiação difusa	diffuse_radiation	DGT*	W/m ²	Topografia	✓	✓	✓
Temperatura máxima no verão	TMAXSM	WoldClim	°C	Clima	✓	✓	✓
Temperatura mínima no verão	TMINSM	WoldClim	°C	Clima	✓	✓	✓
Temperatura no período mais quente	MWMT	WoldClim	°C	Clima	✓	✓	✓
Teor de argila	CLAY	ESDAC	%	Solo	✓	✓	✓
Teor de azoto	N	ESDAC	mg/kg	Solo	✓	✓	✓
Teor de carbono orgânico	CORG	ESDAC	mg/kg	Solo	✓	✓	✓
Teor de fósforo	P	ESDAC	mg/kg	Solo	✓	✓	✓
Teor de iodo	SLIT	ESDAC	%	Solo	✓	✓	✓
Teor de potássio	K	ESDAC	mg/kg	Solo	✓	✓	✓
Nº total de variáveis utilizadas				15	17	15	15

DGT* Variáveis calculadas através do Modelo digital de elevação cedido pela Direção Geral do território (DGT).

WorldClim** Variáveis calculadas através de dados climáticos cedidos pelo WorldClim.

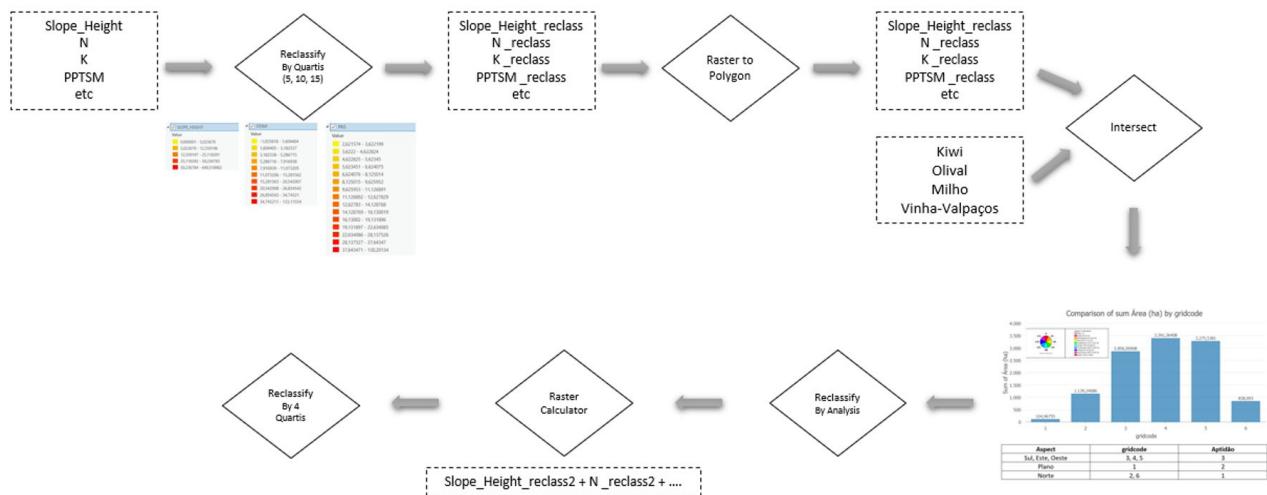


Figura 2 - Fluxograma com as operações realizadas.

das culturas em análise, produzindo informação da área ocupada por cada uma das culturas, em cada quartil da variável.

Através de uma operação de reclassificação manual, os quartis (5, 10 ou 15) foram agregados em três categorias de aptidão: baixa (1), média (2) e elevada (3).

A reclassificação dos quartis implicou uma análise de cada variável para cada cultura. Deste modo, foram notórias as diferentes preferenciais das culturas por determinadas classes (Quadro 2).

A título de exemplo, o teor de azoto no solo (N), apresenta distribuições diferentes na cultura da vinha comparativamente ao kiwi. A vinha, na região de Valpaços, apresenta uma aptidão elevada, sobretudo (91,3% da área da cultura) entre os 1,2 e os 1,5 mg/kg de azoto, enquanto o kiwi, tem um maior nível de aptidão (89,2% da área da cultura), entre os 1,9 e os 6,5 mg/kg de azoto.

Quanto à evapotranspiração (EREF), no olival esta variável encontrava-se acima dos 961 mm/ano nos locais de maior predominância da cultura, ou seja, de aptidão elevada (80,4% da área da cultura). No entanto, no milho, 70,1% da área da cultura, onde a aptidão foi classificada de elevada, a evapotranspiração encontra-se entre os 801 e os 900 mm/ano.

Noutro exemplo relativo às condições climáticas, nos graus dia abaixo de 0°C (DDb0), o milho e o kiwi têm maior preferência por áreas de temperaturas mais amenas relativamente ao olival. Ou seja, 83% da área de kiwi e 73% da área de milho, encontram-se em locais com $\leq 3,2^{\circ}\text{C}/\text{dia}$, comparativamente ao olival, com 77% da área em locais $> 5,3$ a $\leq 20,5^{\circ}\text{C}/\text{dia}$ abaixo de 0°C.

Também a percentagem de elementos grosseiros (COARSE) na vinha é mais elevada (>23 a <38%) nas áreas de maior aptidão, em relação ao milho, que tem maior aptidão em locais de menor percentagem de elementos grosseiros (<18,6%).

No comprimento do declive (C_DECLIVE), enquanto variável importante para as quatro culturas, constatamos que no milho, kiwi e vinha, culturas com maior presença em zonas mais planas de vale ou encosta, a maior aptidão foi em classes nulas ou baixas de comprimento de declive. Por outro lado, o olival, apresenta maior aptidão em classes intermédias de comprimento do declive, aproximadamente entre os 50 e os 70 metros.

Numa comparação das classes preferenciais e nível de aptidão das culturas para as variáveis biofísicas, verifica-se que em algumas destas, por exemplo, na exposição solar, a variação das proporções de área das quatro culturas pelas categorias de aptidão,

Quadro 2 - Variáveis utilizadas por culturas agrícolas

Variável /Unidades das classes	Classes	Valor	% de área da cultura	Vinha	Olival	Milho	Kiwi
Água disponível no solo (AWC) (%)	≤ 4			3	26,4%	-	-
	>4 a ≤5			-	-	-	-
	>5 a ≤7			2	21,2%	1	0,5%
	>7 a ≤8			1	3,5%	2	17,4%
	>8 a ≤9			2	13,9%	3	75,3%
	>9 a ≤10			2	13,0%	2	6,1%
	>10 a ≤11			2	8,4%	1	0,7%
Altura do declive (SLOPE_HEIGHT) (Metros)	>11 a ≤13			2	13,4%	-	-
	≤ 5,0	1	12,3%	1	14,5%		3
	>5,8 a ≤12,5	3	41,3%	3	36,1%		3
	>12,5 a ≤25,1	3	29,9%	2	24,8%	2	10,1%
	>25,1	2	16,5%	1	24,5%	1	3,8%
Capacidade catiônica do solo (CEC) (cmol.kg ⁻¹)	>17 a ≤53	1	6,8%	1	1,8%		3
	>5,3 a ≤9,8	3	37,1%	2	21,7%		33,2%
	>9,8 a ≤11,1	2	45,0%	2	53,4%	2	10,1%
	>11,1 a ≤19,2	2	11,2%	3	23,1%		3,8%
Comprimento do declive (C_DECLIVE) (Metros)	0	3	35,2%	-	-	3	36,6%
	>0 a ≤17,3	3	-	1	0,0%	-	-
	>17,3 a ≤34,7	3	7,9%	1	0,1%	1	8,2%
	>34,7 a ≤52,0	3	16,6%	2	13,5%	2	13,3%
	>52,0 a ≤69,4	2	4,3%	3	54,9%	1	4,5%
	>69,4 a ≤104,1	2	13,4%	2	28,3%	2	11,3%
	>104,1 a ≤156,1	2	10,4%	1	2,8%	2	9,5%
	>156,1 a ≤347,0	1	9,7%	1	0,2%	1	10,8%
	>347,0	1	2,5%	-	-	1	4,9%
	≤0,5			2	16,8%	2	20,8%
	>0,5 a ≤1			3	30,3%	3	39,9%
	>1 a ≤2			2	17,8%	2	21,5%
	>2 a ≤4			2	21,9%	2	14,6%
	>4			1	13,2%	1	3,4%
Curvatura máxima (MAX_CURV) (%)	≤0,4	1	9,2%	2	19,0%	1	12,1%
	>0,4 a ≤0,3	2	10,0%	1	10,8%	1	11,9%
	>0,3 a ≤0,1	3	30,7%	3	28,1%	3	33,4%
	>0,1	3	50,1%	2	42,2%	2	42,6%

Quadro 2 - Variáveis utilizadas por culturas agrícolas (*continuação*)

Quadro 2 - Variáveis utilizadas por culturas agrícolas (continuação)

Variável / Unidades das classes	Classes	Valor	% de área da cultura	Valor	% de área da cultura	Valor	% de área da cultura	Milho	Kiwi
Percentagem de elementos grosseiros (COARSE) (%)									
>5,9 a ≤18,6	1	0,3%						3	51,5%
>18,6 a ≤23,2	1	5,6%						2	24,9%
>23,2 a ≤26,9	2	18,5%						2	14,3%
>26,9 a ≤31,5	3	31,8%						2	7,2%
>31,5 a ≤37,9	3	39,0%						1	2,0%
>37,9	2	4,9%						1	0,2%
>2,6 a ≤3,6	-	-						2	17,8%
>3,6 a ≤4,6	-	-						3	41,7%
>4,6 a ≤5,6	1	2,1%						2	11,6%
>5,6 a ≤8,1	3	38,0%						2	10,4%
>8,1 a ≤11,	3	33,2%						1	4,2%
>11,1 a ≤16,1	2	23,8%						1	5,8%
>16,1 a ≤22,6	1	2,9%						1	3,4%
>22,6	-	-						1	5,1%
Precipitação na primavera (PPTSP) (mm)									
>189 a ≤205	2	9,3%							
>205 a ≤251	3	45,6%							
>251 a ≤278	3	34,5%							
>278 a ≤292	1	10,6%							
Precipitação no inverno (PPTWI) (mm)									
>170,0 a ≤252,5						2			
>252,5 a ≤342,9						3	9,5%		
>342,9 a ≤452,9						2	64,3%		
>452,9						1	20,1%		
Precipitação no outono (PPTAT) (mm)									
>325,3								1	6,0%
>325,2 a ≤356,1								3	2,4%
>356,1 a ≤449,1								2	63,9%
>449,1								2	33,8%
Precipitação no verão (PPTSM) (mm)									
>30,6 a ≤69,9	1	15,8%							-
>60,6 a ≤69,9	3	52,2%							-
>69,9 a ≤74,5	3	21,5%							0,7%
>74,5 a ≤77,8	2	6,6%							4,4%
>77,8 a ≤80,6	2	3,6%							5,3%
>80,6 a ≤84,7	2	0,4%							43,6%
>84,7 a ≤87,6	-	-							17,6%
>87,6 a ≤91,7	-	-							21,7%
>91,7 a ≤97,4	-	-							15,7%
>97,4 a ≤104,7	-	-							0,9%
>104,7	-	-							7,6%

Quadro 2 - Variáveis utilizadas por culturas agrícolas (*continuação*)

Variável /Unidades das classes	Classes	Valor	Vinha		Olival		Milho		Kiwi	
			% de área da cultura	Valor						
Radiação difusa (diffuse_radiation) (WH/m ²)	>163 a ≤283	1	0,2%	2	9,4%	1	2,8%	2	3,8%	
	>283 a ≤292	1	2,0%	2	10,4%	3	70,2%	3	79,6%	
	>292 a ≤297	2	11,8%	3	15,3%	2	7,3%	2	12,4%	
	>297 a ≤302	3	33,4%	3	20,9%	2	4,9%	2	3,2%	
	>302 a ≤312	3	47,5%	3	35,3%	1	5,0%	1	0,5%	
	>312 a ≤316	2	4,5%	2	7,4%	1	3,2%	-	-	
	>316 a ≤320	2	0,6%	1	1,2%	1	3,3%	1	0,4%	
	>320	-	-	-	-	1	3,3%	-	-	
	>23,1 a ≤25,1							2	40,1%	
	>25,1 a ≤25,7							3	44,1%	
Temperatura máxima no verão (TMAXSM) (°C)	>25,7 a ≤26,3							2	13,2%	
	>26,3 a ≤29,6							1	2,6%	
	≤ 11,7			1	0,2%		-	-	-	
	>11,7 a ≤12,7			1	6,0%		-	-	-	
	>12,7 a ≤13,0			2	8,7%		-	1	0,8%	
	>13,0 a ≤13,7			2	27,2%		-	1	0,4%	
	>13,7 a ≤14,5			2	36,9%		-	2	8,9%	
	>14,5 a ≤15,9			3	21,0%		-	3	65,5%	
	≤ 18,7						3	23,4%		
	>18,7 a ≤19,4							1	3,0%	
Temperatura no período mais quente (MWWMT) (°C)	>19,4 a ≤20,0							2	10,7%	
	>20,0 a ≤20,9						2	53,0%		
	>20,9 a ≤23,7						2	28,5%		
	>2,8 a ≤9	2					1	4,7%		
	>9 a ≤13,5	3								
	>13,5 a ≤33,3	1								
	≤ 1,2	3								
	>1,2 a ≤1,5	3								
	>1,5 a ≤1,9	2								
	>1,9 a ≤2,1	2								
Teor de argila (CLAY) (%)	>2,1 a ≤6,5	1								
	>1,3 a ≤1,9									
	>1,9 a ≤3,5									
	>3,5 a ≤5,3									
	>5,3									
Teor de azoto (N) (mg/Kg)	>13,5 a ≤15,5									
	≤ 1,2									
	>1,2 a ≤1,5									
	>1,5 a ≤1,9									
	>1,9 a ≤2,1									
	>2,1 a ≤6,5									
Teor de carbono orgânico (CORG) (mg/Kg)	>1,3 a ≤1,9									
	>1,9 a ≤3,5									
	>3,5 a ≤5,3									
	>5,3									

Quadro 2 - Variáveis utilizadas por culturas agrícolas (continuação)

Variável / Unidades das classes	Classes	Valor	Vinha		Olival		Milho		Kiwi	
			% de área da cultura	Valor						
Teor de fósforo (P) (mg/Kg)	≤10,0	1	3,0%	2	12,8%					
	>10,0 a ≤16,0	2	20,0%	3	40,3%					
	>16,0 a ≤21,2	2	15,9%	2	22,4%					
	>21,2 a ≤27,5	2	12,9%	1	10,5%					
	>27,5	3	48,3%	1	14,1%					
	>10,3 a ≤20,3			1	0,1%	1	3,1%	1	0,7%	
	>20,3 a ≤23,4			1	0,4%	2	6,5%	2	9,8%	
Teor de iodo (SILT) (%)	>23,4 a ≤25,9			1	1,1%	3	10,4%	3	19,0%	
	>25,9 a ≤31,2			2	2,7%	3	16,8%	3	29,3%	
	>31,2 a ≤34,1			3	19,1%	3	40,4%	2	32,0%	
	>34,1 a ≤39,7			3	42,5%	2	19,1%	1	8,8%	
	>39,7 a ≤42,5			3	18,3%	1	2,1%	1	0,4%	
	>42,5 a ≤56,7			3	16,0%	1	1,6%	-	-	
	≤64,8			1	6,6%	1	7,0%	1	3,5%	
Teor de potássio (K) (mg/Kg)	>60,8 a ≤89,5			2	7,9%	2	10,0%	3	10,1%	
	>89,5 a ≤169,8			3	55,6%	2	45,0%	3	53,7%	
	>169,8 a ≤255,4			3	9,9%	2	10,7%	2	8,9%	
	>255,4			3	20,0%	3	27,3%	3	23,8%	

Quadro 3 - Condições de aptidão mais relevantes para desenvolvimento das culturas agrícolas

Variável	Unidade	Vinha	Olival	Milho	Kiwi
Água disponível no solo	%	-	≤ 4 (26%)	>8 a ≤9 (75%)	-
Altura do declive	Metros	>5,8 a ≤25,1 (71%)	>5,8 a ≤12,5 (36%)	-	≤ 12,5 (86%)
Capacidade catiónica do solo	cmol.kg ⁻¹	>5,3 a ≤9,8 (37%)	>11,1 a ≤19,2 (21%)	-	-
Comprimento do declive	Metros	≥0 a ≤52 (60%)	>52,0 a ≤69,4 (54%)	0 (37%)	0 (36%)
Curvatura máxima	%	-	>0,5 a ≤1 (30%)	>0,5 a ≤1 (40%)	≤2 (81%)
Curvatura mínima	%	>-0,1 (81%)	>-0,1 (61%)	>-0,1 (43%)	-
Diferença de temp. mês + quente e + frio	°C	>15,8 a ≤15,9 (65%)	-	-	-
Evapotranspiração	mm/ano	-	>961 (80%)	>801 a ≤900 (70%)	-
Exposição ao vento		-	≤ 0,95 (47%)	-	-
Exposição solar		Este (29%)	Sul (30%)	Sul (29%)	Oeste (30%)
Graus dia abaixo de 0°C	°C/dia	-	>5,3 a ≤20,5 (77%)	≤ 1,6 (50%)	≤ 3,2 (83%)
Índice de continentalidade composto		>17,5 a ≤18,5 (59%)	>16,4 a ≤21 (98%)	-	-
Nível de carbonato de cálcio	mg/kg	-	-	≤26,5 (58%)	≤ 1,7 (24%)
Percentagem de elementos grosseiros	%	>26,9 a ≤37,9 (71%)	-	>5,9 a ≤18,6 (52%)	-
Precipitação c/neve entre ago. e jul.	mm	>5,6 a ≤11,1 (71%)	-	>3,6 a ≤4,6 (42%)	-
Precipitação na primavera	mm	>205 a ≤278 (80%)	-	-	-
Precipitação no inverno	mm	-	>252,5 a ≤342,9 (64%)	-	-
Precipitação no outono	mm	-	-	-	>325,2 a ≤356,1 (64%)
Precipitação no verão	mm	>60,6 a ≤74,5 (74%)	-	>80,6 a ≤87,6 (63%)	>80,6 a ≤91,7 (81%)
Radiação difusa	WH/m ²	>297 a ≤312 (81%)	>292 a ≤312 (72%)	>283 a ≤292 (70%)	>283 a ≤292 (80%)
Temperatura máxima no verão	°C	-	-	-	>25,1 a ≤25,7 (44%)
Temperatura mínima no verão	°C	-	>14,5 a ≤15,9 (21%)	-	>13,7 a ≤15,9 (89%)
Temperatura no período mais quente	°C	-	-	>19,4 a ≤20,0 (53%)	-
Teor de argila	%	>9 a ≤13,5 (81%)	-	-	-
Teor de azoto	mg/kg	>1,2 a ≤1,5 (91%)	-	-	>1,9 a ≤6,5 (89%)
Teor de carbono orgânico	mg/kg	-	-	-	>1,9 a ≤3,5 (79%)
Teor de fósforo	mg/kg	>27,5 (48%)	>10,0 a ≤16,0 (40%)	-	-
Teor de iodo	%	-	>31,2 a ≤56,7 (96%)	>23,4 a ≤34,1 (68%)	>23,4 a ≤31,2 (48%)
Teor de potássio	mg/kg	-	>89,5 (85%)	>255,4 (27%)	>255,4 (88%)
Nº total de variáveis utilizadas		15	17	15	15

não são muito diferentes. Ou seja, as quatro culturas têm níveis de aptidão semelhantes para as classes desta variável.

Depois de reclassificados os quartis em três categorias de aptidão, foi realizada uma operação de interceção das diversas variáveis de cada cultura e realizada uma operação de adição das categorias num campo de somatório. Assim, o resultado foi obtido pelo somatório das pontuações das variáveis e agregado em quatro quartis (aptidão nula, baixa, média e elevada), originando uma carta de aptidão final ajustada à distribuição da cultura.

As condições de aptidão relevantes para as culturas (Quadro 3) permitem estabelecer classes das variáveis que ajudam a definir um perfil para a

região, constituindo um apoio para a identificação de locais com características semelhantes para direcionar o desenvolvimento dessas culturas.

Validação das cartas através da área de cultura existente

Com a obtenção das cartas de aptidão, torna-se fundamental aferir a sua validade e adequabilidade à região. Na validação das cartas de aptidão obtidas (Figura 3) foi utilizada a informação da presença das culturas existente nos serviços geográficos disponibilizados pelo IFAP, I.P., relativos às culturas, sobrepondo essa informação com a carta produzida, quantificando assim as áreas da cultura, distribuídas pelos quatro níveis de aptidão.

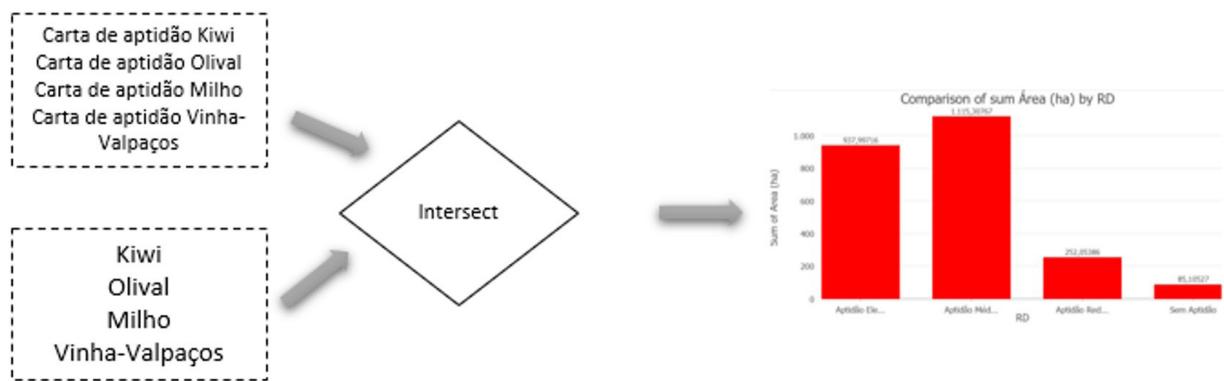


Figura 3 - Fluxograma da validação das cartas de aptidão obtidas.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O olival é uma cultura que, na região Norte, está geograficamente concentrada na região agrária de Trás-os-Montes, sendo nesta zona que existem as Denominações de Origem Protegida (DOP) Azeite de Trás-os-Montes e Azeitona de Conserva Negrinha de Freixo.

Na Figura 4 podemos ver que as classes de aptidão elevada e média estão bem interligadas e são complementares, sendo de destacar a NUT III Terras de Trás-os-Montes, Douro e algumas áreas da bacia hidrográfica do rio Tâmega (NUT III Alto Tâmega, Ave, Tâmega e Sousa).

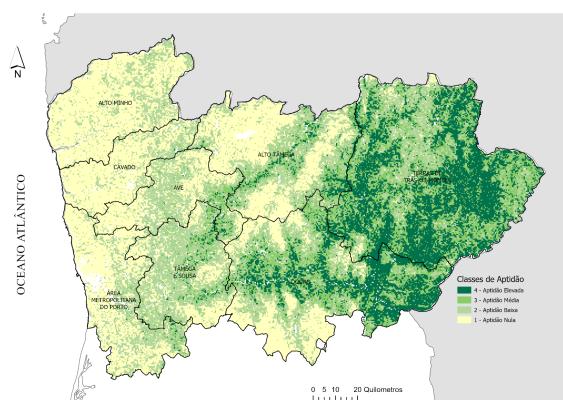


Figura 4 - Carta de aptidão natural do Olival para a região Norte de Portugal.

Quanto ao kiwi (Figura 5) as classes de aptidão mais elevadas concentram-se na região agrária do Entre-Douro e Minho, nas NUT III Alto Minho, Cávado, Ave, Área Metropolitana do Porto e Tâmega e Sousa. Existem ainda algumas áreas na NUT Alto Tâmega (Veiga de Chaves) com aptidão média.

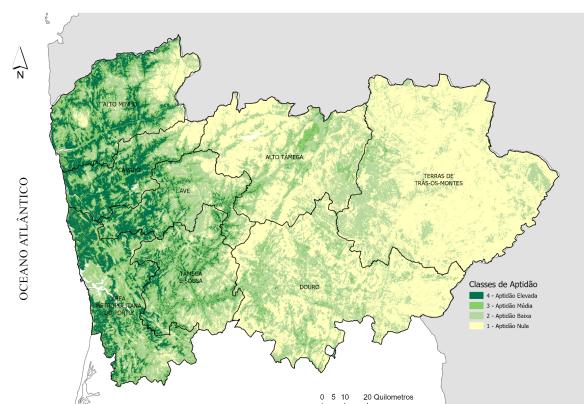


Figura 5 - Carta de aptidão natural do Kiwi para a região Norte de Portugal.

No caso do milho (Figura 6) a região do Entre-Douro e Minho, apresenta uma maior aptidão para a cultura, no entanto, dada a adaptabilidade da cultura e o sistema policultural em que ela se desenvolve, em algumas zonas, sobretudo de montanha, poderá sobrevalorizar a aptidão natural.

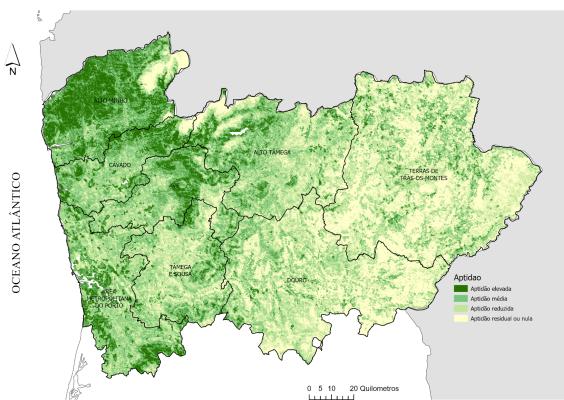


Figura 6 - Carta de aptidão natural do Milho para a região Norte de Portugal.

A vinha na sub-região vitivinícola de Valpaços (Figura 7) apresenta alguma continuidade espacial, maioritariamente com exposição solar a Oeste e menor exposição a precipitação em forma de neve.

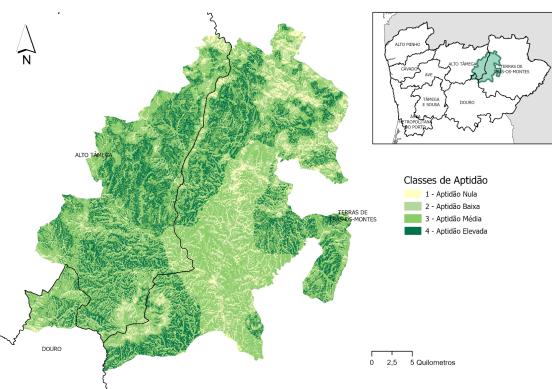


Figura 7 - Carta de aptidão natural da Vinha para a sub-região vitivinícola de Valpaços.

As cartas de aptidão natural obtidas à escala regional ou no caso da vinha para a sub-região vitivinícola, foram validadas para obter uma relação entre o resultado e o existente na realidade. Com base no conhecimento da existência das culturas agrícolas em estudo, houve uma interseção com as cartas de aptidão produzidas através da aplicação da metodologia, permitindo conhecer as proporções de área encontradas em cada nível de aptidão.

Não seria esperado que todas as áreas de cultura instalada estivessem em áreas de aptidão elevada, tal como quase acontece no kiwi (Figura 8), porém, quanto maior a proporção de área existente nos níveis de aptidão mais altos (elevado e médio), mais ajustada será a carta de aptidão obtida. Este princípio baseia-se no pressuposto que o agricultor, por experiência e resultados favoráveis alcançados, mantém ou opta por instalar uma determinada cultura nas suas parcelas, sendo alterada no curto prazo, por outra mais favorável, caso a primeira opção não seja adequada técnica ou economicamente à atividade agrícola.

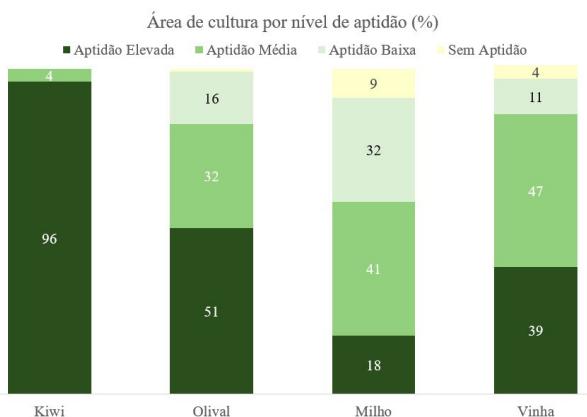


Figura 8 - Taxa de presença das culturas nas classes de aptidão das cartas.

CONCLUSÃO

A metodologia consistiu na utilização de informação geográfica de base, com 94 variáveis biofísicas (solo, clima e topografia), selecionando as variáveis que diferenciam cada uma das culturas e estudando a sua adequação ao nível regional partindo da atual distribuição.

As variáveis biofísicas foram submetidas a um estudo de correlação (teste de Wilcoxon) para determinar as que apresentavam menor correlação entre si, não sobreestimando a influência de umas sobre outras e na distribuição de quatro culturas (vinha, olival, kiwi e milho) na NUT II Norte.

Através de um conjunto de operações SIG, as variáveis biofísicas selecionadas foram caracterizadas para cada cultura, numa assinatura específica para a região, ou no caso dos vinhos para a sub-região vitivinícola de Valpaços (Região Demarcada de Trás-os-Montes). Deste modo, com base na efetiva distribuição regional, efetuou-se a reclassificação da informação *raster* numa escala com três pontos de agregação, detetando assim os locais com diferentes níveis de aptidão. Em seguida, o resultado foi obtido pelo somatório das pontuações das variáveis e na agregação em quatro quartis (níveis), originando uma carta de aptidão ajustada à distribuição regional da cultura.

A sobreposição da localização das culturas com as variáveis biofísicas é uma tarefa essencial para encontrar características idênticas na região. Não obstante, para culturas que se adaptam bem a diversas variáveis biofísicas ou em que a rentabilidade económica permite criar artificialmente essas condições (preparação do solo, rega, fertilização ou regulação do *pH*) a modelação da aptidão agrícola, numa escala ampla como acontece com a regional, apresenta menor aproximação à realidade. Atingindo a estes aspetos, no caso da vinha, a análise das variáveis foi efetuada à escala da sub-região demarcada de vinhos (região demarcada de Trás-os-Montes, sub-região de Valpaços), aproximando o modelo de aptidão às particularidades da cultura (castas) presentes.

Os resultados mostraram que no olival existe uma interligação espacial entre as classes de maior aptidão (média e elevada) e a concentração de aptidão na região agrária de Trás-os-Montes com particular destaque nas áreas de Denominações de Origem Protegida.

No kiwi, as áreas de maior aptidão natural para a cultura concentram-se na região agrária de Entre-Douro e Minho, nomeadamente nas NUT III Alto Minho, Cávado, Ave, Área Metropolitana do Porto e Tâmega e Sousa.

Quanto ao milho, atendendo à grande diversidade de variedades e à vasta distribuição na região, abrangendo amplas condições biofísicas, a distribuição de aptidão é mais heterogénea, sendo visível uma maior concentração na região agrária de Entre-Douro e Minho.

Na sub-região vitivinícola de Valpaços as áreas com maior aptidão para a vinha apresentam exposição solar a Oeste e menor exposição a precipitação em forma de neve, apresentando alguma continuidade espacial.

As cartas de aptidão natural da região Norte que resultaram da informação de base utilizada (solo, clima, topografia e presença da cultura) apresentam níveis de adequação bastante satisfatórios, podendo apoiar o ordenamento cultural e fundamentar opções estratégicas que reduzam o desperdício de apoios de investimento destinados a locais com aptidão nula ou reduzida e que facilmente resultam no insucesso das explorações agrícolas que tomam essas opções sem consciência dos riscos.

Em última instância, à semelhança do que acontece com a discriminação positiva (administrativa) de critérios como o despovoamento (territórios de baixa densidade), também as cartas de aptidão natural de culturas agrícolas podem ser utilizadas como majoração nas pontuações das valias globais de operação de investimento agrícola a variadas escalas (NUT III, freguesia, polígono).

Em futuras investigações sobre o tema é fundamental obter informação sobre a quantidade e qualidade das produções agrícolas nos locais onde estas se encontram. Estes dados, em conjunto com outros do sistema de produção (dos itinerários técnicos - compasso, variedades, rega, etc. – às combinações de atividades na exploração) podem ajudar a evidenciar tendências com melhor resultado na instalação das culturas e direcionar outros agricultores no caminho correto.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abreu, J.; Silva, J.; Pena, S.; Barata, L.; Leitão, M. & Saavedra, A. (2015) - Modelo de Avaliação Produtiva e Zonamento de Culturas Temporárias e Perenes. In: Magalhães, M. (Ed.) - *Ordem Ecológica e Desenvolvimento: O Futuro do Território Português*, p. 330. ISAPress. ISBN: 978-972-8669-64-5
- Albaji, M.; Naseri, A.; Papan, P. & Nasab, S. (2009) - Qualitative Evaluation of Land Suitability for Principal Crops in the West Shoush Plain, Southwest Iran. *Bulgarian Journal of Agricultural Science*, vol. 15, n. 2, p. 135-145.
- Barros, A.; Tagliarini F.; Garcia, Y.; Minhoni, R.; Barros, Z. & Zimback, C. (2019) - Mapeamento da aptidão agrícola das terras por meio de análise multicritério. *Revista de Ciências Agrárias*, vol. 42, n. 2, p. 295-304. <https://doi.org/10.19084/rca.17293>
- Chivasa, W.; Mutanga, O. & Biradar, C. (2019) - Mapping land suitability for maize (*Zea mays* L.) production using GIS and AHP technique in Zimbabwe. *South African Journal of Geomatics*, vol. 8, n. 2, p. 265-281. <http://dx.doi.org/10.4314/sajg.v8i2.11>
- Fick, S. & Hijmans, R. (2017) - WorldClim 2: new 1km spatial resolution climate surfaces for global land areas. *International Journal of Climatology*, vol. 37, n. 12, p. 4302-4315. <https://doi.org/10.1002/joc.5086>
- Fraga, H.; Santos, J.; Malheiro, A.; Moutinho-Pereira, J.; Trindade, H.; Dinis, L.; Freitas, T.; Stolarski, O.; Rodrigues, D.; Guimarães, N.; Fonseca, A.; Carvalho, A.; Navarro, B.; Lopes, D.; Luís, L.; Brás, L.; Regalo, A.; Graça, A.; Fontes, N. & Marcos, L. (2023) - CoaClimateRisk – O Impacto das Alterações Climáticas e Medidas de Adaptação para as Principais Culturas Agrícolas na Região do Vale Do Côa. Zenodo. <https://doi.org/10.5281/zenodo.7985030>
- Gomes, J. & Santos, J. (2005) - SISAP – Sistema de Apoio à Determinação da Aptidão Cultural. *I Congresso Nacional de Rega e Drenagem*, dezembro 2005. <https://www.cotr.pt/docs/ICNRD/Papers/55.pdf>
- Hiederer, R. (2013a) - *Mapping Soil Properties for Europe - Spatial Representation of Soil Database Attributes*. Luxembourg: Publications Office of the European Union - 2013 - 47pp. EUR26082EN Scientific and Technical Research series, ISSN 1831-9424, doi:10.2788/94128
- Hiederer, R. (2013b) - *Mapping Soil Typologies - Spatial Decision Support Applied to European Soil Database*. Luxembourg: Publications Office of the European Union - 2013 - 147pp. EUR25932EN Scientific and Technical Research series, ISSN 1831-9424, doi:10.2788/8728
- Mendes, S.; Alonso, J.; Castro, P.; Paredes, C.; Valín, I.; Rodrigues, A.; Afonso, I.; Nogueira, J.; Santos, J.; Lourenço, M.; Sobrinho, R. & Cortez, I. (2019) - TERR@ENO - Terroir e zonagem agro-ecológica como fator crítico de competitividade e 'inovação dos Vinhos Verdes. In: *X Congresso Ibérico de Agroengenharia*, Huesca, 3-6- setembro 2019, p. 629-633.
- Pires, M. (2021) - *Modelação bioclimática e zonagem agro-ecológica do olival em contexto de mudança climática no Nordeste de Portugal*. Dissertação de Mestrado em Engenharia Agronómica, Escola Superior Agrária do Instituto Politécnico de Viana do Castelo.
- RSeT – Associação Técnico-Científica para o Desenvolvimento/Instituto Superior de Agronomia (2017) - *Fichas de Cultura & Cartas de Aptidão Agroecológica*. Projeto EU-ACTIVA, fevereiro de 2017 <https://www.imvf.org/wp-content/uploads/2018/03/fichasdeculturafinal.pdf>
- Saaty, T. (1977) - A scaling method for priorities in hierarchical structures. *Journal of Mathematical Psychology*, vol. 15, n. 3, p. 234-281. [https://doi.org/10.1016/0022-2496\(77\)90033-5](https://doi.org/10.1016/0022-2496(77)90033-5)
- Saaty, T. (1987) - The Analytical Hierarchy Process: what it is and how it is used. *Mathematical Modelling*, vol. 9, n. 3-5, p. 161-176. [https://doi.org/10.1016/0270-0255\(87\)90473-8](https://doi.org/10.1016/0270-0255(87)90473-8)