



**INSTITUTO POLITÉCNICO
DE VIANA DO CASTELO**

Aptidão cultural para a Casta Loureiro:

*Modelo espacialmente explícito (SIG) para a sub-região do Lima (região dos Vinhos
Verdes).*

Dissertação de Mestrado

Engenharia do Território e do Ambiente

Abraão Pereira Rodrigues

Escola Superior Agrária do Instituto Politécnico de Viana do Castelo, 2024



**INSTITUTO POLITÉCNICO
DE VIANA DO CASTELO**

Abraão Pereira Rodrigues

Aptidão cultural para a Casta Loureiro:

**Modelo espacialmente explícito (SIG) para a sub-região do Lima (região dos Vinhos
Verdes).**

Dissertação de Mestrado

Engenharia do Território e do Ambiente

Trabalho efetuado sob a orientação de:

Professor Doutor Joaquim Mamede Alonso

Professora Doutora Maria Isabel Valin Sanjiao

Escola Superior Agrária do Instituto Politécnico de Viana do Castelo, 2024

As modificações climáticas e, em especial, o aumento da temperatura do ar e a modificação da distribuição e das frequências de chuvas podem originar impactos na produção de uva e na qualidade do vinho, e podem causar modificação na área e nas variedades culturais (Jones & Goodrich, 2008).

As doutrinas expressas
neste trabalho são da exclusiva
responsabilidade do autor

Agradecimentos

A vida é composta por etapas e só somos bem-sucedidos quando nos encontramos numa sociedade e comunidade saudável. Agradeço a todos que me deram apoio e motivação para a concretização deste trabalho

Agradeço à minha família, que sempre me apoia nas minhas decisões e me dão sempre aquela força e impulso para seguir em frente, perante as dificuldades da vida.

Agradeço ao Professor Doutor Joaquim Mamede Alonso, por ter aceite acompanhar e orientar a minha tese, pela disponibilidade, críticas construtivas e revisão durante a elaboração da dissertação.

Agradeço a Professora Maria Isabel Valin co-orientadora, o apoio demonstrado em colaborar no projeto.

A todos os formadores da Escola Superior Agrária (IPVC) que partilharam o seu conhecimento e experiência, durante todo o meu percurso académico.

Aos colegas do gabinete CIGESA, por proporcionar um ambiente de trabalho que inspira aprendizagem e crescimento.

Aos meus colegas e amigos deste percurso académico que sempre me apoiaram e me ajudaram quando precisei, com toda a prontidão e amizade.

A todos o meu sincero obrigado.

Resumo

As alterações climáticas causam impactos em todas as formas de vida presentes no planeta terra ao nível da aptidão, distribuição, produtividade e qualidade da produção de espécies agrícolas. Para a distribuição, evolução e aptidão de espécies é possível criar modelos de distribuição de espécies com dados de presenças e indicadores. A sub-região do Lima apresenta uma boa aptidão para a casta Loureiro.

O presente trabalho visa avaliar a atual e potencial aptidão para a casta Loureiro do Vale do Lima (sub-região do Lima da região Demarcada dos Vinhos Verdes, NW Portugal), para isso se recolheram e integraram dados espaciais relativos a cenários (bio)climáticos, de solo e fisiografia no modelo biomod2. A distinção de castas brancas e tintas resulta de classificação pelo algoritmo kmeans de imagens de satélite SENTINEL2.

O resultado, ao nível da sub-região do Lima, revela uma aptidão atual para a casta Loureiro embora se registam potenciais mudanças de avanço da aptidão para as áreas de maior altitude e proximidade média ao mar. Os principais promotores destas alterações resultam das mudanças climáticas esperadas com implicações sobre os indicadores de radiação solar, períodos de crescimento activo e as necessidades hídricas das plantas com potenciais implicações na sanidade e produtividade, bem como em desafios nas técnicas e tecnologias de produção.

O estudo destaca as implicações das políticas públicas, planeamento, investimento e operação dos sistemas de produção para a sub-região e nível local.

Palavras-chave:

modelos de distribuição, Biomod; K-means; SDMs; Casta Loureiro e aptidão da terra

Abstract

Climate change has an impact on all forms of life on the planet in terms of the suitability, distribution, productivity and quality of production of agricultural species. For the distribution, evolution and suitability of species, it is possible to create species distribution models with presence and indicator data. The Lima sub-region has good suitability for the Loureiro grape variety.

In this research, in order to assess the current and potential suitability for the Loureiro grape variety in the Lima Valley (Lima sub-region of the Vinho Verde Demarcated Region, NW Portugal), spatial data on (bio)climate, soil and physiography scenarios were collected and integrated into the biomod2 model. The occurrence of white and red grape varieties was classified using the kmeans algorithm on SENTINEL2 satellite images.

The result for the Lima sub-region reveals a current suitability for the Loureiro grape variety, although there are potential changes in suitability towards areas of higher altitude and average proximity to the sea. The main drivers of these changes are expected climate changes with implications for radiation indicators, periods of active growth and water requirements in plants with potential implications for health and productivity, as well as challenges in production techniques and technologies.

In the end, the implications for public policies, planning, investment and operation of production systems for the region and the local level are studied.

Keywords:

distribution models, Biomod; K-means; SDMs; Casta Loureiro and land suitability

Índice de Figuras

Figura 3.1- Etapas da obtenção do ICR (Fonte: Sampaio & Augustin, 2014)	21
Figura 3.2- Fruto, Folha e caule da casta Loureiro (Fonte: Dias, 2017; Pinheiro, 2019; Infovini).....	27
Figura 3.3- Ciclo da videira (Fonte: Magalhães, 2019).....	32
Figura 3.4- Exemplo de agrupamento feito com k-Means (Fonte: Silva, 2020).....	37
Figura 3.5. Fluxo sintetizado da obtenção da distribuição das áreas de treino.....	37
Figura 3.6- Síntese do processo de seleção de indicadores	42
Figura 3.7- Etapas para produção do modelo distributivo em Biomod (Fonte: Adaptado de Thuiller, 2024)	47
Figura 3.8- Output de análise possíveis com o package biomod (Fonte: Thuiller, 2024)	49
Figura 4.9. Enquadramento da área de estudo.....	50
Figura 4.10. Cenários das temperaturas médias anuais (Fonte de dados: Marchi, et al., 2020).....	51
Figura 4.11- Cenários das Precipitações médias anuais (Fonte de dados: Marchi, et al., 2020).....	52
Figura 4.12- Altimetria	53
Figura 4.13- Cartografia de declives	53
Figura 4.14- Índice de curvatura.....	54
Figura 4.15- Índice de Carga térmica	54
Figura 4.16- Orientações solares	55
Figura 4.17- Índice topográfico de humidade	56
Figura 4.18- índice de Concentração de rugosidade.....	56
Figura 4.19- Distâncias hidrográficas.....	57
Figura 4.20- Cenários do Índice de aridez.....	58
Figura 4.21- Cenários do Índice de erosão potencial	59
Figura 4.22- Cenários do Índice heliotérmico de Branas	60
Figura 4.23- Cenários do Índice heliotérmico de Huglin	61
Figura 4.24- Cenários do Índice hidrotérmico de Selianinov.....	62
Figura 4.25- Cenários do Índice hidrotérmico de Branas, Bernon e Levadoux	63
Figura 4.26- Cenários do Índice de seca.....	64

Figura 4.27- Cenários do índice de Winkler.....	65
Figura 4.28- Cenários do Índice Bioclimático de Hidalgo.....	66
Figura 4.29- Cenários do Índice de frescura noturna	67
Figura 4.30- Parâmetros utilizados no agrupamento k-means	68
Figura 4.31- Gráfico dos dados e agrupamento com k-means	69
Figura 4.32- Observação dos agrupamentos por castas na área de estudo.....	69
Figura 4.33- Matriz de correlação	70
Figura 4.34- VIF das variáveis finais	71
Figura 4.35- Indicadores selecionados para o modelo	72
Figura 4.36- Resposta dos classificadores na Casta 2	73
Figura 4.37- Resposta dos classificadores na Casta 3	74
Figura 4.38- Importância de variáveis no modelo para a casta 2	75
Figura 4.39- Importância de variáveis no modelo para a casta 3	76
Figura 4.40- Aptidão cultural da casta 2.....	77
Figura 4.41- Aptidão cultural da casta 3.....	78
Figura 4.42- Aptidão cultural das duas castas em simultâneo.....	80
Figura 4.43- Ampliações de locais da classificação da casta 3	81

Índice de Equações

Equação 3.1- Índice de aridez. Legenda: Pa- Precipitação anual (mm), PEm- Evapotranspiração potencial média anual (mm)	15
Equação 3.2- Índice de erosão. Legenda: Pi- Mês de maior precipitação média (mm), Pa- Precipitação total anual (mm)	15
Equação 3.3- Índice heliotérmico de Branas. Legenda: H- Insolação potencial, Tmd- Temperatura média diária (°C).....	16
Equação 3.4- Índice heliotérmico de Huglin. Legenda: Tmd- Temperatura média diária (°C), Txd- Temperatura máxima diária(°C), x: Coeficiente comprimento do dia (varia de 1.02 a 1.06 entre as latitudes 40° e 50°).....	16
Equação 3.5 Índice hidrotérmico de Selianinov. Legenda: P- Precipitação média (mm), Tmédia- Temperatura média (°C)	17
Equação 3.6- Índice hidrotérmico de Branas, Bernon e Levadoux. Legenda: Tmédia- Temperatura média (°C), Pmédia- Precipitação média (mm).....	17
Equação 3.7- Índice de seca. Legenda: WØ- Reserva hídrica do solo, P- Precipitação mensal (mm), Tv- Transpiração potencial mensal (mm), Es- Evaporação mensal do solo (mm), Mi- Mês inicial do ciclo da cultura, Mf- Mês final do ciclo da cultura.....	17
Equação 3.8- Índice de Winkler. Legenda: Tmax- Temperatura máxima mensal, Tmin- temperatura mínima mensal.....	18
Equação 3.9- Índice bioclimático de Hidalgo. Legenda: Tmédia- Temperatura média, I- Iluminação eficaz, P- Precipitação média.....	18
Equação 3.10- Índice de frescura noturna. Legenda: Tmin- Temperatura mínima	19
Equação 3.11- Índice de curvatura. Legenda: D- Distância vertical ao plano referencia, H- Altura em ponto específico, E- Espaçamento entre pontos, G- Curvatura Principal, F- Fator de Correção	19
Equação 3.12- Índice de carga térmica Legenda: l- latitude, θ : Declive (radianos), $f(\alpha)$: folden slope, α - Declive.....	20
Equação 3.13- Índice topográfico de humidade. Legenda: α - área de drenagem (acumulação de fluxo), θ - declividade do terreno (radianos).....	20
Equação 3.14- Índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI).....	34
Equação 3.15- Índice de borda vermelha de diferença normalizada (NDRE)	34
Equação 3.16- Índice de Vegetação por Diferença Normalizada Verde (GNDVI)	35

Índice de Quadros

Quadro 3.1- Síntese das características ideais para a casta Loureiro	29
Quadro 3.2- Características dos porta-enxertos (Fonte: Adaptado de CVRVV)	30
Quadro 3.3- Dados de bioclima	38
Quadro 3.4- Dados de fisiografia e morfologia	39
Quadro 3.5- Dados das características pedológicas	40
Quadro 3.6- Dados de radiação solar	40
Quadro 3.7- Dados socioeconómicos	40

Abreviaturas

Ia	Índice de aridez
Ie	Índices de erosão potencial
Ihb	Índice heliotérmico de Branas
IH	Índice heliotérmico de Huglin
K	Índice hidrotérmico de Selianinov
IHBBL	Índice hidrotérmico de Branas, Bernon e Levadoux
Is	Índice de seca
Iw	Índice de Winkler
Ibc	Índice Bioclimático de Hidalgo
ESDAC	European Soil Data Center
MDE	Modelo Digital de elevação
CVRVV	Comissão de Viticultura da Região dos Vinhos Verdes
COS2018	Carta de ocupação do solo 2018
HLI	Índice carga térmica
TWI	Índice Topográfico de humidade
IB	índices bioclimáticos
IPCC	Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas
CTC	Capacidade de troca catiónica
C	Índice de Curvatura
SDMs	Modelo distributivo de espécies
UH	Unidades homogéneas

Índice

1. INTRODUÇÃO	1
2. A APTIDÃO NATURAL, ECONÓMICA E CULTURAL DE CASTAS VITÍCOLAS.....	3
2.1. O conceito de aptidão e zonagem.....	3
2.2. A evolução desde a aptidão natural, económica e cultural	5
2.3. Os dados e os modelos espacialmente explícitos na cartografia de aptidão.....	6
2.4. A evolução da aptidão em contexto de mudança climática.....	8
2.5. A gestão da aptidão desde o planeamento, investimento e operação	10
3. METODOLOGIA.....	11
3.1. Caraterização da área de estudo e o âmbito.....	11
3.1.1. Clima	12
3.1.2. Cenários climáticos	12
3.1.3. Índices bioclimáticos cálculo e evolução	14
3.1.4. Fisiografia e morfologia	19
3.1.4. Características pedológicas.....	22
3.2. Descrição da casta Loureiro	27
3.3. Distribuição de áreas de treino	32
3.4. Os dados socioambientais para a cartografia de aptidão cultural.....	38
3.5. O modelo de avaliação da cartografia de aptidão cultural.....	41
3.6. A validação dos resultados.....	49
4. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DE RESULTADOS	50
4.1. A sub-região do Lima	50
4.2. A cartografia de aptidão cultural (presente e futuro).....	68
4.3. A validação dos resultados	78
4.4. As implicações no planeamento, investimento e operação	82
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	84
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	86
7. ANEXOS	101

1. INTRODUÇÃO

As mudanças climáticas podem originar impactos negativos e positivos para o desenvolvimento da videira, influenciando todo o seu ciclo vegetativo (Fraga et al., 2015). A necessidade de obter produtividade dos terrenos existentes em Portugal é inquestionável para a sobrevivência da espécie humana e economia do país. Ao mesmo tempo a qualidade e tipicidade dos produtos depende da identidade e estabilidade climática (Pinto, 2024; Pinto et al., 2013). A investigação geográfica na viticultura ocupa um lugar importante em estudos de geografia agrícola a nível regional (Cardoso et al., 2019).

Esta investigação avalia a distribuição atual e potencial da casta Loureiro na sub-região do Lima. O objetivo geral desta investigação prende-se com a avaliação da distribuição atual e potencial das condições adequadas e identificar as castas na sub-região do Lima da Região dos Vinhos Verdes no Alto Minho (NW Portugal) incluindo a sistematização de bases de dados espaciais e um sistema de informação territorial que garanta:

- i. a distribuição de castas de vinha atuais através de áreas de treino e processamento de imagens de satélite e indicadores de ocorrência das espécies;
- ii. a modelação da distribuição potencial das áreas de vinha considerando fatores de clima, solos e fisiografia e com recurso ao pacote biomod2 do Rstudio;
- iii. avaliação da evolução da distribuição potencial das áreas de condições à distribuição da vinha até ao final do século com recurso aos cenários climáticos RCP4.5 e 8.5;
- iv. seguida, de uma análise e validação e implicações sobre o planeamento e gestão da distribuição e gestão das atividades vitivinícolas.

Neste âmbito, o trabalho apresenta uma estrutura de introdução teórica, explora os conceitos e metodologias e o enquadramento/exploração inicial dos resultados obtidos primeiro ao nível da zonagem seguida de uma apresentação e análise de resultados.

Assim esta tese organiza-se de forma sequencial em que o:

- i. capítulo 1 refere um enquadramento teórico sobre a aptidão natural, económica e cultural de castas de vinha;

- ii. capítulo 2 apresenta a metodologia para estudar o local e a cultura alvo implícitas aos modelos de avaliação e a validação de resultados;
- iii. capítulo 3 apresenta e discute os resultados;
- iv. capítulo 4 conclui sobre como as alterações climáticas podem interferir nas castas de videira, criticando a qualidade de dados e dos modelos utilizados, bem como os temas prioritários de investigação futura.

2. A APTIDÃO NATURAL, ECONÓMICA E CULTURAL DE CASTAS VITÍCOLAS.

2.1. O conceito de aptidão e zonagem

A gestão e a viabilidade dos sistemas de produção, das paisagens e da vitivinicultura são influenciadas pela relação das condições ambientais naturais na vinha e património (i)material, denominadas por terroir (Seguin, 1986; Falcetti, 1994; van Leeuwen et al., 2004). O terroir é uma unidade de terra caracterizada por padrões relativamente homogéneos ou dominantes da topografia, clima, geologia e solos (Laville, 1990), bem como da biologia (casta e porta-enxertos), do património e intervenção humana (social, histórica e de técnicas produtivas).

Um terroir enquanto definição de zonas homogéneas representa a combinação de diferentes fatores que interagem para formar uma unidade vitícola única, com um potencial agronómico que se reflete no retorno económico, dos seus produtos vínicos. Após longos anos de debate, a Organisation Internationale de la Vigne et du Vin (Resolução OIV/Viti 333/2010) definiu oficialmente o “terroir” vitivinícola como: “um espaço físico onde se desenvolve, interactivamente, o conhecimento coletivo dos ambientes físicos e biológicos (incluindo solos, topografia, clima, paisagem, biodiversidade e cultura) e as práticas vitivinícolas, dotando assim os produtos territoriais com características distintivas” (resolução OIV/Viti 333/2010).

Neste quadro, o conceito de terroir é evolutivo, multidimensional e complexo (Gladstones & Smart, 1997; Vaudour, 2003) e inclui várias componentes associadas:

- i. ao meio natural e biofísico (clima, topografia, geologia, vegetação e solo);
- ii. aos recursos e ao material vegetal (porta-enxertos/castas) na sua relação com as práticas culturais;
- iii. ao património e aos recursos culturais implícitas nos aspetos sociais, organizacionais, económicos e mesmo políticos que se relacionam com a sustentabilidade da atividade.

A evolução tecnológica e a forte dinâmica dos mercados ocorrida nas duas últimas décadas, a nível mundial, contribuem para as alterações profundas em todas as áreas de atividade económica e social. A informação adquiriu, neste contexto, uma relevância crescente sendo que o desenvolvimento sustentável das regiões e o sucesso das

organizações depende da qualidade e da quantidade de informação de que dispõe bem como, da forma como essa informação é tratada e utilizada. A gestão do conhecimento, em preferência espacial, pode ajudar a apresentar e efetivar soluções numa base colaborativa de suporte a redes de trabalho, mas também, conduzir os conteúdos entre a sua dimensão técnico-científica, política bem como, promocional e divulgativa do território, dos produtos e iniciativas/atividades associadas.

Em síntese, a zonagem ou definição de terroir permitem identificar não só os territórios de acordo com o seu potencial e tipicidade para produzir vinhos diferenciados (terroir) mas, sobretudo, otimizar a gestão das vinhas para uma viticultura sustentável permitindo a valorização económica da produção e das empresas e uma maior competitividade do sector.

O estudo de espécies culturais incluem o conhecimento de fatores bióticos e abióticos que influenciam a sobrevivência e o desenvolvimento desses seres vivos. O desenvolvimento, a produtividade e a tipicidade da cultura da vinha encontra-se limitada nas diversas regiões do mundo, particularmente pela temperatura, radiação solar, humidade atmosférica e a disponibilidade hídrica no solo (Costacurta & Roselli, 1980). De acordo com Edenius & Mikusiński (2006), a aptidão de uma área, para uma ou mais espécies, depende de diversos fatores que, quando combinados, poderão ou não favorecer o estabelecimento de uma ou mais espécies.

O conceito de aptidão baseia-se no princípio de que as espécies apresentam a capacidade de se instalarem e o homem selecionar para os locais que melhor satisfazem as suas necessidades. A aptidão em contexto agronómico refere-se à capacidade de uma determinada área ou terreno para suportar o cultura de culturas específicas, considerando uma variedade de fatores que afetam a instalação, crescimento, produtividade e qualidade da produção agrícola. Isso inclui a análise das características do clima, solo e topografia que influenciam os microclimas e a, disponibilidade de água e nutrientes, entre outros aspetos relevantes que influenciam o crescimento e desenvolvimento das plantas.

A avaliação de aptidão agronômica podem ser suportadas em cartas de aptidão. Sampaio (2007), refere que as cartas de aptidão são de grande utilidade à otimização do planeamento do uso da terra, planeamento esse que deverá ter como objetivo, a orientação de decisões respeitantes à utilização das terras, permitindo um melhor e mais eficiente

aproveitamento dos nossos recursos, alertando para as relações que existem entre a terra e a sua utilização.

As cartas de aptidão podem definir os locais com boas características culturais, no entanto não consideram as restrições legais e ambientais. Nesse contexto foi criada a zonagem agrícola que é mais abrangente e completa na medida que é um processo que avalia, envolve a divisão de uma área geográfica em zonas ou regiões com base em fatores agronômicos, como características climáticas, solo, topografia e outros elementos que afetam o cultura de diferentes culturas, assim como os usos e restrições de uso do solo, preocupações ambientais e enquadramento legal (decretos-lei e regulamentos). O objetivo da zonagem agrícola pode associar-se á aptidão para o cultura de culturas específicas com base no ordenamento do território e proteção do meio ambiente.

A zonagem é um elemento de gestão das condições e recursos naturais, mesmo da adaptação às alterações climáticas, no apoio aos processos de planeamento e gestão vitivinícola, promovendo a qualidade e valor acrescentado do vinho e neste sentido, beneficiando o rendimento da atividade e dos produtores favorecendo a qualidade da paisagem e a viabilidade dos territórios e economias locais (Mendes et al., 2019). A zonagem agrícola contribui com os agricultores e as entidades a determinar quais culturas são mais apropriadas para serem cultivadas em uma área específica, com base nas condições presentes nesse local, contribuindo para o aumento da eficiência e produtividade agrícola. De acordo com Vale et al., (2016) em abordagens tradicionais, a zonagem tem sido realizada através da avaliação do impacto de parâmetros únicos do terroir na qualidade da uva: clima, solo e geologia, casta e porta-enxerto.

Neste momento a zonagem é uma ferramenta usual de suporte ao planeamento e gestão agrícola. Em síntese a aptidão vai de encontro às condições que um determinado local ou terreno, apresentam, para o cultura de espécies vegetais, desde componentes do solo, a disponibilidade de água no solo, humidade entre outras características que afetam o crescimento das culturas diretamente.

2.2. A evolução desde a aptidão natural, económica e cultural

A evolução da aptidão em termos agronómicos encontra-se associada à evolução das práticas agrícolas e a agricultura no decorrer do tempo.

A aptidão natural refere-se à capacidade intrínseca de uma área geográfica para suportar o crescimento de determinadas culturas com base em fatores naturais, como o clima, o solo e a topografia. A evolução dessa aptidão natural envolve a compreensão detalhada desses fatores no espaço e ao longo do tempo. Isso inclui avanços na ciência do solo, na climatologia agrícola e na cartografia agrícola, permitindo uma melhor identificação das zonas ideais para o cultivo de diferentes culturas. Assim, pode-se considerar assim a que a aptidão natural é a base para a exploração dos solos e deve ser sempre considerada sempre que as culturas forem cultivadas no solo.

A aptidão cultural agrícola das mudanças nas práticas, técnicas e tradições agrícolas ao longo do tempo. Está dependente das tecnologias, métodos de cultura e práticas sustentáveis. Além disso, as mudanças nas preferências culturais e na conscientização ambiental podem influenciar a escolha das culturas e práticas agrícolas. Assim como as alterações climáticas influenciam diretamente a aptidão cultural dos terrenos, devido à adaptação das culturas.

A evolução da aptidão económica relacionada com a mudança das condições e objetivos económicos na agricultura. Ao longo do tempo, as culturas foram selecionadas não apenas com base na aptidão natural, mas também de acordo com a procura do mercado e as considerações económicas. A adaptação das práticas agrícolas para atender às necessidades e preferências dos consumidores e, neste sentido, maximizar a rentabilidade torna-se relevante considerando a oferta de produtos dos países vizinhos com preços muito competitivos.

2.3. Os dados e os modelos espacialmente explícitos na cartografia de aptidão

A criação de cartografia de aptidão necessita do tratamento de dados referentes a diversas temáticas que interferem nas necessidades culturais. Atualmente existem dados geográficos disponíveis a todos os utilizadores em suporte digital que podem ser trabalhados através de vários softwares SIG. Os dados espaciais apresentam várias características, nomeadamente projeções, resolução, e data de criação que influenciam a

sua qualidade dos dados aquando da utilização dos mesmos. *A qualidade da informação espacial e de seus produtos é multidimensional e complexa, variando espacial e temporalmente* (Weber et al., 1999). Os dados e os modelos espacialmente explícitos na cartografia de aptidão, assentam na quantidade e qualidade de dados. De acordo com Costa (2015) *a modelação preditiva da distribuição das séries de vegetação possibilita a produção de mapas probabilísticos com base na extrapolação das relações entre as variáveis ambientais e as comunidades vegetais*.

As novas tecnologias apoiam a investigação dos efeitos combinados de diversos parâmetros na definição do *terroir* e aptidão. É o caso da Geomática, que combina métodos de processamento de dados espaciais com tecnologias de computação. A sua aplicação torna possível a recolha e análise de grandes quantidades de dados sobre o meio, o desempenho/fenometria da cultura e os atributos de áreas de produção individuais com alta resolução espacial (Zhou et al., 2003, Vaudour e Shaw 2005). Os estudos de zonagem permitem, assim, identificar não só os territórios de acordo com o seu potencial para produzir vinhos específicos (aptidão), mas também otimizar a gestão das vinhas para uma viticultura sustentável. Mesmo dentro do *terroir*, o conhecimento pormenorizado de cada “parcela” (*Climat*) e a sua constante monitorização permitem definir critérios fiáveis para plantação (localização, orientações da vinha, definição de porta-enxertos, sistemas de condução) e definição dos itinerários/intervenções culturais (incluindo mapeamento de datas de colheita) (Lamb, 2000; Bramley, 2001; Bramley e Lamb, 2003; van Leeuwen et al., 2004).

Neste contexto, as análises espaciais e temporais das características fisiográficas (topografia, geologia, clima, entre outros) de um território e a avaliação de suas interações com vegetação (vinhas e coberto vegetal) são fundamentais, tanto no planeamento de novas áreas de plantação (pode permitir melhorar a tomada de decisão nos próximos programas de apoio) como na gestão das plantações já existentes. Esta informação serve de base para a política agrícola das regiões, tomada de decisão de proteção e conservação de recursos endógenos associados, em exclusivo, a determinados territórios, pelo seu perfil diferenciado e serve de base ainda às estratégias de comunicação e promoção do território, incluindo dos seus recursos (paisagem), produtos e agentes bem como, das atividades com potencial valor de mercado (Münier et al., 2004; Patel, 2004).

A quantidade e a diversidade do tipo e formatos de dados bem como, das áreas de conhecimento disciplinares associadas apresentam perspectivas importantes, mas parciais

e redutoras, sobre o mesmo objeto (parcela) e contribuintes para propósitos multidimensionais (ex. onde plantar, quanto e quanto aplicar de fungicida). A compreensão do meio e dos processos implica a integração e síntese espacial através da definição de unidades homogêneas (UH) (Fraga et al., 2018). Estes exercícios assumem o espaço como denominador comum e integrativo das diferentes aproximações disciplinares e temáticas. Neste sentido, a definição de UH dependente das abordagens e escala permitem uma perspectiva hierárquica da representação da complexidade desde aproximações:

- i. socioambientais à escala regional associada à diferenciação de sistemas agrários ou sistemas de produção de suporte à definição de políticas e de planeamento rural (Nuñez et al. 2011);
- ii. agro-ecológicas à escala local (Moral et al, 2016) que podem incluir a definição de unidades naturais muitas vezes implícitas a unidades de paisagem vinhateiras e *terroirs* que importam para opções de investimento em cada projeto;
- iii. ambientais ou agronómicas à escala da parcela que estabelecem UH com condições similares merecedoras de atenção e operações (técnicas e tecnologias) diferenciadas de suporte a técnicas de agricultura de precisão.

As unidades homogêneas garantem à definição e análise de *terroirs*, definição de cartografia de aptidão natural, cultural e económica ou mesmo, à definição de condições, estados ou dinâmicas dentro da parcela que mereçam tratamento ou prescrições diferenciadas (ex. de densidade/tipo de plantas ou semente, água/rega, fertilizantes, sanitários, tempo e forma de colheita). Como exemplo, a decisão de densidade de plantação, de cartas de prescrição da quantidade de fitofármaco ou data de vindima dependem de vários dados espaciais (solos, precipitação, vegetação) e como tal carecem de integração espacial em UH.

2.4. A evolução da aptidão em contexto de mudança climática

As mudanças climáticas interferem com os ecossistemas. A aptidão das regiões é influenciada pelo clima (Simões, 2015 & Marco, 2012). *Os impactos das mudanças*

climáticas podem se constituir numa séria ameaça para a agricultura, por colocar em risco a preservação dos sistemas agrícolas atuais, mas também podem se tornar uma oportunidade para o desenvolvimento de outros sistemas (Ghini, 2006). A alteração do regime de chuvas e de temperatura implica consequências diretas sobre a agricultura. O aumento da temperatura e a alteração dos padrões de precipitação podem repercutir nos agroecossistemas. Como resultado imediato, tal fato causará a alteração da distribuição geográfica de culturas (Hoffmann, 2011).

A variabilidade espacial e temporal das temperaturas causam distúrbios nos seres vivos presentes no solo que são fundamentais no bom funcionamento do solo. *As condições climáticas, tais como temperatura e precipitação média anual, são os fatores mais importantes na determinação dos níveis de matéria orgânica do solo (Stevenson, 1994). A influência do clima nos processos pedogenéticos pode ser inferida através de características como a mineralogia, teor e tipo de óxidos de ferro, acumulação de matéria orgânica no solo e seu grau de humidade (Dalmolin, 2002).* Desta forma o clima interfere nas culturas diretamente a partir da radiação, temperaturas e humidade do ar, que alteram todo o seu ciclo e podem mesmo impossibilitar as culturas com uma aptidão ótima se possam desenvolver.

O conceito de *terroir* considera a complexidade da relação entre as diversas componentes, contudo centra a sua atenção nas variáveis naturais e estruturais porque estas não podem ser facilmente alteradas pelas técnicas e tecnologias de produção. De facto, a complexidade inerente ao conceito e às metodologias de definição de *terroir* encontram uma relação e importância associada às ciências do solo, gestão e economia vitícola no quadro dos sistemas socio-ecológicos e de produção locais. As diversas metodologias de definição e cartografia exploram nos métodos multicritérios biofísicos, humanos e parâmetros qualitativos espaciais de classificação de unidades ou zonas homogêneas.

A identificação e caracterização das unidades *terroir* são os principais objetivos dos estudos de zonagem vitícola de forma:

- i. a permitir delimitar as zonas que são suscetíveis de produzir uvas ou vinhos de composição semelhante, com características diferenciadas (tipicidade),
- ii. bem como, também apoiar a tomada de decisão ao nível operacional nas várias fases de produção e desta forma contribuir para a valorização económica da produção e maior competitividade do setor.

Em abordagens tradicionais, a zonagem explora a avaliação do impacto de parâmetros únicos do *terroir* na produção para a planta e na qualidade da uva (clima, solo e geologia, casta e porta-enxerto) (Nuñez et al., 2011). No entanto, porque muitos outros fatores estão envolvidos na expressão de um *terroir*; o seu estudo deve ser multidisciplinar, envolvendo o clima, a geologia, a topografia, a pedologia, a climatologia e a fisiologia da videira na relação com o património cultural e imaterial associado às características e evolução dos sistemas de produção, comercialização e hábitos de consumos locais (ex, na relação com eventos e gastronomia local). Com a globalização económica, verifica-se uma apropriação e uma utilização destes conceitos e processos na diferenciação e promoção dos produtos com uma garantia da tipicidade e qualidade, enquanto bem de consumo e dimensão cultural.

Por outro lado, os modelos de distribuição de espécies podem ser ferramentas úteis para conhecer as áreas com aptidão (Ferreira, 1992). De acordo com (Solomon, 2007) *existem evidências de que o clima mundial vem sendo alterado nas últimas décadas, principalmente por meio do aumento das temperaturas e mudanças de precipitações. Os modelos de distribuição vêm sendo utilizados também para avaliar os efeitos das mudanças climáticas nos agroecossistemas* (Austin & Van Niel, 2011).

2.5. A gestão da aptidão desde o planeamento, investimento e operação

O conhecimento da aptidão vitícola e a definição de *terroir* através da zonagem agroecológica prevista pela OIV (Organização Internacional do Vinho) são condições necessárias de suporte à melhoria do planeamento, gestão, dinamização e sustentabilidade dos territórios e unidades de produção vitícolas.

A aptidão deve orientar sistemas de produção ajustados, adaptáveis e inteligentes. O planeamento com base nas culturas ou variedades mais adequadas influenciam o retorno e a viabilidade dos investimentos (Milhorange, Sabourin, & Chechi, 2019; Paz & Kipper, 2016; Felgueiras et al., 2017).

3. METODOLOGIA

A indicação de locais com aptidão para vinha da casta Loureiro implica a zonagem e a aptidão desenvolvida ao longo de diversas fases:

Fase I Caracterização da área de estudo e o âmbito

- i. Clima /cenarização climática e cálculo de Índices bioclimáticos
- ii. Fisiografia/ Morfologia
- iii. Características pedológicas

Fase II Descrição da Casta Loureiro

Fase III Distribuição de áreas de treino

Fase III Os dados socioambientais para a cartografia aptidão cultural

Fase IV Modelo de avaliação da cartografia de aptidão cultural

Fase V A validação de Resultados

3.1. Caracterização da área de estudo e o âmbito

O âmbito temático encontra as temáticas atuais de sustentabilidade e gestão, sendo feito o enquadramento de forma breve da área envolvente e da área de estudo, para posteriormente se compreender a adaptação da espécie alvo do trabalho, com base em indicadores de posição geográfica e fisiográfica.

Existem produtos cartográficos que podem ser criados através de atributos e cartografias primárias, a carta de curvas de nível permite estudar as elevações do terreno, declives e exposições solares que no estudo vegetal desempenha um papel muito pertinente. A posição geográfica determina um conjunto de características que se assemelham e permitem associar a adaptação das espécies.

3.1.1. Clima

O clima influencia a distribuição e ciclo da videira. No contexto agrícola devido à variação climática regional, a adaptação das castas é impactada diretamente, o que justifica a necessidade de estudar a diversidade de indicadores climáticos.

Este estudo utiliza dados climáticos com os seguintes parâmetros principais.

- i. Precipitação média anual (mm): Permite analisar tendências de variação ao longo dos anos, avaliando a disponibilidade hídrica para as culturas;
- ii. Temperatura média anual (°C): Indicador das alterações climáticas para avaliar impactos em ecossistemas e culturas;
- iii. Precipitação média por estação (mm): essencial para estudar variações sazonais, e prever impactos em espécies vegetais;
- iv. Temperatura máxima nas estações (°C): Influencia significativamente o metabolismo da videira e as perdas de água;
- v. Temperatura mínima nas estações (°C): Baixas temperaturas podem causar danos severos em gomos, flores e raízes das videiras, afetando sua produtividade;
- vi. Temperatura média por estação (°C): Permite identificar oscilações térmicas sazonais e potenciais riscos para culturas.

3.1.2. Cenários climáticos

As alterações climáticas globais são complexas e difíceis de compreender sem a ajuda de ciência (Bjurström & Polk, 2011). Os cenários climáticos são criados por cientistas para investigar as alterações climáticas a longo prazo e respetivas formas de mitigação.

A cenarização climática é utilizada para o estudo das alterações climáticas e a influencia dos gases de efeito de estufa no clima. Os cenários climáticos base deste trabalho são o período referência, o RCP4.5 e o RCP8.5. O órgão neste momento responsável por sintetizar e divulgar o conhecimento sobre as alterações climáticas é o Painel Intergovernamental sobre Alterações Climáticas (IPCC). A existência desta organização possibilita o armazenamento e partilha de dados referentes a mudanças climáticas, de

forma que é possível compreender o que pode vir a mudar o planeta Terra, e estudar as soluções necessárias (IPCC, 2024).

Nesta investigação utilizam-se os cenários disponíveis no artigo de Marchi et al. (2020) para estudar a evolução da casta Loureiro:

i. Período de referência: 1970-2000

O período de referência pretende retratar a atualidade de fenómenos climáticos tendo sido calculado de 1970 a 2000, este cenário retrata refere-se a uma referência em modelações distributivas e caracterização da atualidade.

ii. RCP 4.5 (2041-2070) e (2071-2100)

O cenário RCP 4.5 representa as previsões climáticas futuras conforme as emissões de gases de efeito estufa (GEE) no planeta. Neste cenário a previsão climática considera o aumento médio da temperatura global no caso das emissões de GEE sejam reduzidas até a metade do século XXI através de políticas governamentais de mitigação eficazes, mudanças do quotidiano das pessoas e tecnologias de redução de emissões. Este cenário consideram uma mudança impactante nos padrões de energia ou corrigir/melhorar as existentes para obter mais eficiência e reduzir o desperdício. As previsões permitem retratar a mudança climática ao fim de 50 anos e de 80 anos (Cardoso, 2023; Yadav et al., 2021; Ferreira, 2020; Lima, 2018).

Segundo Silveira et al. (2016) *a projeção RCP 4.5 sugere uma estabilização das emissões de metano associadas a um leve aumento das emissões de CO₂ até 2040 até atingir o valor alvo de 650 ppm de CO₂ equivalente na segunda metade do século XXI. As anomalias de temperatura da maioria dos modelos no cenário RCP 4.5 encontram-se entre 1,5°C e 2,5°C* (Silveira et al., 2016).

iii. RCP 8.5 (2041-2070) e (2071-2100)

O Cenário RCP 8.5 representa as previsões climáticas futuras conforme as emissões de GEE caso as emissões de agentes poluentes forem contínuas por todo o séc. XXI. Este cenário permite representar o futuro em que as emissões de gases poluentes tendem a aumentar, sem esforços para a sua redução no quadro de uma continua utilização de recursos fósseis para obtenção de energia. Este cenário permite retratar a mudança climática ao fim de 50 anos e ao fim de 80 anos tal como no cenário anterior, mas as mudanças são mais drásticas e significativas, com pouca utilização de energia proveniente de fontes de energia renovável (Cardoso, 2023; Anand et al., 2021; Prevéy et al., 2020).

Silveira et al. (2016) refere que *o cenário RCP 8.5 sugere um crescimento contínuo da população associada a um desenvolvimento tecnológico lento, resultando em acentuadas emissões de dióxido de carbono. Este cenário é considerado o mais pessimista para o século XXI em termos de emissões de gases do efeito de estufa, sendo consistente com nenhuma mudança política para reduzir as emissões e forte dependência de combustíveis fósseis. As anomalias de temperatura da maioria dos modelos no cenário RCP 8.5 a maioria dos modelos indicam anomalias entre 2,5°C e 3,2°C* (Silveira et al., 2016).

3.1.3. Índices bioclimáticos cálculo e evolução

De acordo com Camargo et al. (1986) *a interação entre as culturas e os fatores ambientais representados pelos diversos elementos meteorológicos, afeta o crescimento e o desenvolvimento sob diversas maneiras nos diferentes estádios de uma cultura. Os índices bioclimáticos constituem indicadores das condições ambientais, cujos valores tem significado para organismos vivos* (Heuvelink et al., 1986). Díaz San Andrés (2022) refere que *os índices climáticos e bioclimáticos são classificados em: termicidade, pluviométricos, termo pluviométricos, de aridez, de continentalidade, índices mediterrâneos, índices de evapotranspiração, índices de erosão potencial e índices bioclimáticos. Os índices bioclimáticos (IB) são usados como ferramentas de zonagem vitícola, com o objetivo de classificar e comparar a aptidão das regiões, identificar e caracterizar novas áreas e determinar as melhores castas a plantar em cada uma das regiões* (Egipto et al., 2013). Os índices bioclimáticos podem ser estudados de forma independente e permitem tirar diferentes conclusões da área de estudo e acerca das culturas que se desenvolvem nos locais. Segundo Huglin & Schneider (1998) *existem*

para a vinha uma série de índices bioclimáticos que são indicações numéricas e servem na maior parte dos casos para caracterizar os potenciais climáticos dos locais.

Para este trabalho foram caracterizados e calculados uma série de índices que se consideram importantes para o estudo da vinha na sub-região do Lima, nomeadamente presentes em estudos e artigos publicados (Agrocontrol, 2017; Maia, 2013; Brighenti & Tonietto, 2004; Tonietto & Carbonneau, 2004).

i. Índice de aridez (Ia)

O índice de aridez representa a falta de água no solo, pode ser calculado e definido como a diferença entre a evapotranspiração potencial anual e precipitação anual, permite concluir em termos práticos se a quantidade de água presente durante o decorrer do ano permite sustentar as culturas, ou seja, humidade presente no solo (Arruda, 2021). *O índice de aridez representa o quanto uma região é árida. Para um estudo da intensificação ou não deste índice, é preciso que se faça uma análise temporal do comportamento do mesmo* (Francisco et al., 2015).

Equação 3.1- Índice de aridez. Legenda: Pa- Precipitação anual (mm), PEm- Evapotranspiração potencial média anual (mm)

$$Ia = \frac{Pa}{PEm}$$

ii. Índices de erosão potencial (Ie)

A erosão dos solos é um problema que se têm vindo a agravar no decorrer dos anos. A precipitação é um dos fatores que influencia a erosão. Para o seu estudo é possível criar uma relação entre o mês de maior precipitação média e a precipitação anual do local (Pereira et al., 2010; Carvalho et al., 2009).

Equação 3.2- Índice de erosão. Legenda: Pi- Mês de maior precipitação média (mm), Pa- Precipitação total anual (mm)

$$Ie = \frac{Pi^2}{Pa}$$

iii. Índice heliotérmico de Branas (Ihb)

O índice heliotérmico de Branas considera as temperaturas médias diárias superiores a 10°C e a soma do comprimento do dia. É calculado no período de Abril a Outubro. E considera a luminosidade diária. Na cultura da vinha este índice apresenta uma grande influência ao incluir a incidência de raios solares (Abreu, 2020).

Equação 3.3- Índice heliotérmico de Branas. Legenda: H- Insolação potencial, Tmd- Temperatura média diária (°C)

$$Ihb = \sum_{\text{Outubro}}^{\text{Abril}} (Tmd - 10^{\circ}\text{C}) * H * 10^{-6}$$

iv. Índice heliotérmico de Huglin (IH)

O índice heliotérmico de Huglin prevê com a temperatura média diária, a duração do dia e a temperatura máxima diária. Permitindo avaliar as potencialidades de fotossíntese do local. É considerado o período entre 1 de Abril e 30 de Setembro (Huglin & Schneider, 1998; Huglin, 1986).

Equação 3.4- Índice heliotérmico de Huglin. Legenda: Tmd- Temperatura média diária (°C), Txd- Temperatura máxima diária(°C), x: Coeficiente comprimento do dia (varia de 1.02 a 1.06 entre as latitudes 40° e 50°)

$$IH = \sum_{\text{Abril}}^{\text{Setembro}} \frac{(Tmd - 10) + (Txd - 10)}{2} x$$

v. Índice hidrotérmico de Selianinov (K)

O índice hidrotérmico de Selianinov define zonas vitícolas, com base nas disponibilidades hídricas naturais e permite a partir do cálculo com a precipitação média e temperatura média determinar o período de seca a duração e intensidade (Magalhães, 2008; Castro, 2013).

Equação 3.5 Índice hidrotérmico de Selianinov. Legenda: P- Precipitação média (mm), Tmédia- Temperatura média (°C)

$$K = \sum_{\text{Março}}^{\text{Novembro}} \frac{P_{\text{média}}}{T_{\text{média}} - 10}$$

vi. Índice hidrotérmico de Branas, Bernon e Levadoux (IHBBL)

O índice hidrotérmico de Branas, Bernon e Levadoux estuda a temperatura e a precipitação e a sua influência no rendimento das uvas e qualidade do vinho, desta forma permite compreender o ataque de fungos nomeadamente de míldio. O ataque de fungos na cultura da vinha afeta todo o ciclo da mesma. Como tal é importante conhecer a precipitação e a temperatura, pois as doenças na videira em condições ideais apresentam uma expansão rápida e geram prejuízos potenciais consideráveis (Magalhães, 2008; Lorenzo et al., 2013; Naves et al., 2012).

Equação 3.6- Índice hidrotérmico de Branas, Bernon e Levadoux. Legenda: Tmédia- Temperatura média (°C), Pmédia- Precipitação média (mm)

$$IHBBL = \sum_{\text{Abril}}^{\text{Agosto}} (T_{\text{média}} * P_{\text{média}})$$

vii. Índice de seca (Is)

O índice de seca permite caracterizar a componente hídrica do clima numa região vitivinícola é medido com base na adaptação do potencial balanço hídrico do solo, desenvolvido especialmente para uso na vinha considerando as reservas hídricas, a precipitação mensal, a transpiração potencial mensal, a evaporação mensal do sol e o mês inicial e final do ciclo da cultura (Tonietto & Carbonneau, 2004).

Equação 3.7- Índice de seca. Legenda: WØ- Reserva hídrica do solo, P- Precipitação mensal (mm), Tv- Transpiração potencial mensal (mm), Es- Evaporação mensal do solo (mm), Mi- Mês inicial do ciclo da cultura, Mf- Mês final do ciclo da cultura

$$Is = \sum_{\text{Mi}}^{\text{Mf}} WØ + P - Tv - Es$$

viii. Índice de Winkler (IW)

O índice de Winkler baseia-se na temperatura máxima e mínima mensal, e permite concluir se existe possibilidade de uma casta completar o seu ciclo de desenvolvimento nessa região (Winkler, 1974). *O Índice de Winkler (IW) é amplamente utilizado como um guia para selecionar variedades de uva e determinar a adequação de uma determinada área para produzir uvas de qualidade* (Köse, 2014, Amerine & Winkler, 1944; Winkler, 1974).

Equação 3.8- Índice de Winkler. Legenda: Tmax- Temperatura máxima mensal, Tmin- temperatura mínima mensal

$$Iw = \sum_{\text{Março}}^{\text{Novembro}} \left[\frac{(T_{\text{max}} - T_{\text{min}})}{2} - 10^{\circ}\text{C} \right]$$

ix. Índice Bioclimático de Hidalgo (Ibc)

Este índice correlaciona as temperaturas médias com a precipitação e iluminação pelo que permite estudar a adaptação das culturas de abril a setembro. No caso da vinha este índice permite estudar o seu ciclo vegetativo (Trigueros, 2013). De acordo com González, Rodríguez & Acebedo (2014) *o índice determina as zonas favoráveis à cultura*.

Equação 3.9- Índice bioclimático de Hidalgo. Legenda: Tmédia- Temperatura média, I- Iluminação eficaz, P- Precipitação média

$$Ibc = \sum_{\text{Setembro}}^{\text{Abril}} \frac{(T_{\text{média}} - 10) * I * 10^{-3}}{P}$$

x. Índice de frescura noturna (IF)

As temperaturas noturnas, em época de maturação afeta a qualidade dos frutos, tanto no aroma como na sua cor, as noites com uma temperatura intermédia e amena proporciona melhor qualidade ao vago de uva antes da colheita (Allebrandt, 2012; Mota et al., 2010). De acordo com Albuquerque (2022) *o Índice de Frio Noturno (IF) é um índice vitícola*

que atua a partir das temperaturas mínimas noturnas associadas ao período de maturação das uvas, ou seja, este índice está associado à qualidade de maturação da região, que é favorecida por noites frescas durante a maturação.

Equação 3.10- Índice de frescura noturna. Legenda: Tmin- Temperatura mínima

$$IF = Tmin \text{ (setembro)}$$

3.1.4. Fisiografia e morfologia

A fisiografia e a morfologia da sub-região impacta o funcionamento e aptidão dos diversos usos territoriais.

i. Altitude

O estudo das altitudes foi obtido a partir de um modelo digital de elevação MDE.

ii. Declive

O modelo digital de elevação e através da ferramenta “slope” do arcgis produziu-se o mapa de declives.

iii. Índice de curvatura (C)

Zevenbergen & Thorne (1987) indicam que o índice de curvatura é a segunda derivada da elevação em relação à distância medida normal à linha de declive máximo. Ela indica se as linhas de declive estão convergindo ou divergindo. Quando a curvatura é positiva (convergente), as linhas de caminho da superfície e subsuperfície convergem, concentrando o fluxo de água e sedimento. Por outro lado, onde é negativa há divergência. O índice de curvatura da área de estudo é usado para medir a curvatura das inclinações. Estes índices permitem analisar fluxos de água, desta forma concluir como ocorre a erosão, e o ciclo da água dos locais.

Equação 3.11- Índice de curvatura. Legenda: D- Distância vertical ao plano referencia, H- Altura em ponto específico, E- Espaçamento entre pontos, G- Curvatura Principal, F- Fator de Correção

$$C = \frac{(2(DH^2 + EG^2 - FGH))}{G^2 + H^2} * 100$$

iv. Índice carga térmica (HLI)

O índice de carga térmica permite estudar o microclima em encostas que é influenciado por o relevo, e afetam todo o desenvolvimento da vegetação. O índice de carga térmica pode ser calculado com 3 diferentes fórmulas e têm usos diferentes (McCune & Keon, 2002). A fórmula que foi utilizada para calculo do índice de carga térmica é aplicável apenas a regiões com latitudes entre 30-60°N (McCune & Keon, 2002). *Portugal apresenta uma latitude entre 36° e 42°* (Alves & Freitas).

Equação 3.12- Índice de carga térmica Legenda: l- latitude, θ : Declive (radianos), $f(\alpha)$: folden slope, α - Declive

$$HLI = 0.039 + [0.808\cos(l) * \cos\theta] - [0.196\sin(\theta)] - [0.482\cos * \cos(f(\alpha)) * \sin(f(\alpha))]$$

v. Índice topográfico de humidade (TWI)

O índice topográfico de humidade baseia-se na função de inclinação e da área a montante, que contribui com o fluxo de água. Por definição de acordo com Sirtoli et al. (2008) o *índice topográfico de humidade apresenta a distribuição das zonas de saturação de água superficial e do conteúdo de água nos solos*. O índice topográfico de humidade descreve a tendência de um local acumular água (Mattivi et al., 2019).

Equação 3.13- Índice topográfico de humidade. Legenda: α - área de drenagem (acumulação de fluxo), θ - declividade do terreno (radianos)

$$TWI = \ln(\alpha/\tan(\theta))$$

vi. Orientações solares

O mapa de orientações solares pode ser obtido no Arcgis com o modelo digital de elevação e a ferramenta “aspect”. Esta cartografia revela grande importância para estudo da vegetação pois permite diferenciar aos locais mais quentes e analisar se existem grande oscilações que podem ser determinantes.

vii. Índice de concentração de rugosidade

O índice de rugosidade é influenciado diretamente pela rocha presente no local, que apresenta a suas características de dureza e a sua vulnerabilidade aos fatores da erosão. *O índice de rugosidade baseia-se em uma análise a partir de um modelo de geoprocessamento que identifica características específicas da morfologia do território facilitando a compreensão da distribuição da declividade do relevo e a sua interpretação segundo padrões de rugosidade* (Sampaio T. , 2008). *O Índice de Concentração da Rugosidade (ICR) foi desenvolvido agregando-se ferramentas geotecnológicas à proposta de análise do relevo* (Hobson, 1972). Desta forma com estas ferramentas torna-se possível analisar de melhor forma o relevo dos locais e caraterizar a variação de tipo de rochas e as oscilações que por sua vez afetam todo o meio envolvente e cursos de água.

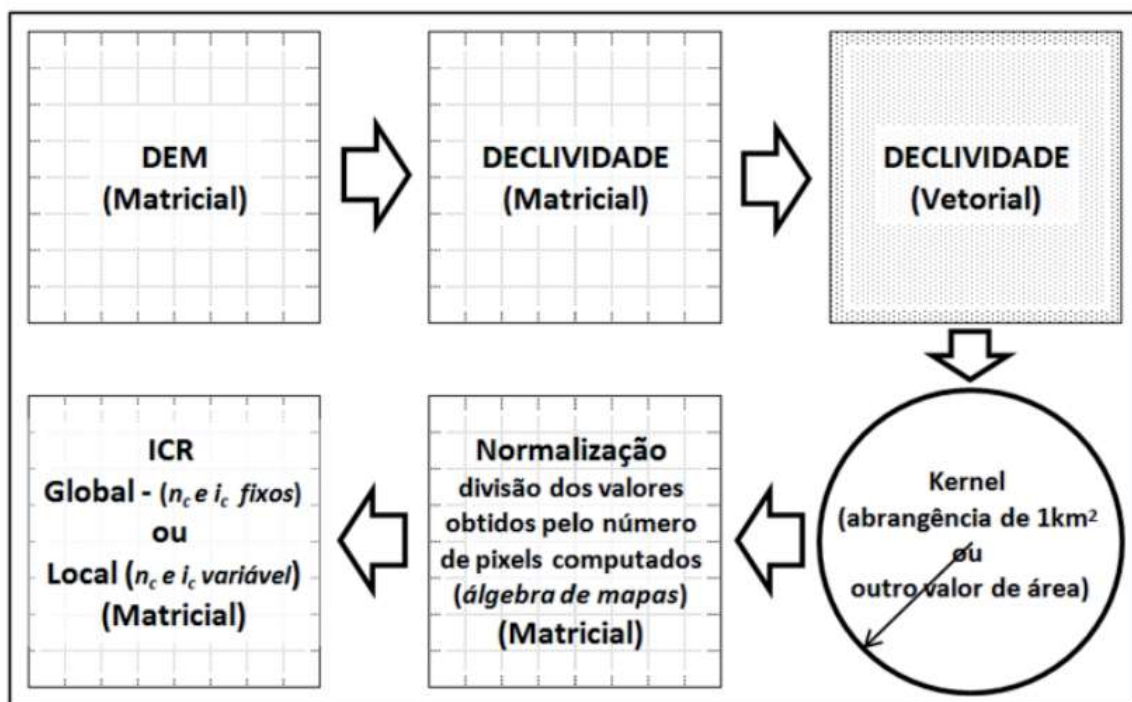


Figura 3.1- Etapas da obtenção do ICR (Fonte: Sampaio & Augustin, 2014)

viii. Distância às linhas de água

A distância à linha de água permite compreender a água presente nos locais. Esta análise pode ser produzida com a ferramenta “buffer” que permite associar a distância às linhas

de água e compreender quais os locais mais próximos e avaliar posteriormente a sua distância (distância às linhas de água em metros: 100; 250; 500; 1500; 3000).

3.1.4. Características pedológicas

O solo é um sistema complexo de suporte e base de vida para diferentes seres vivos, diversificado em toda a região em função dos usos e origens do mesmo. CETESB (2011) refere que *o solo é um meio complexo e heterogêneo, produto da alteração do cultura e da organização do material original (rocha, sedimentos ou outros solos), sob a ação da vida, da atmosfera e das trocas de energia que aí se manifestam. É constituído por quantidades variáveis de minerais, matéria orgânica, água, ar e organismos vivos, incluindo plantas, bactérias, fungos, protozoários, invertebrados e outros animais. O solo apresenta propriedades físicas, químicas e biológicas que o caracterizam* (Vieira, 2003). *As principais propriedades físicas do solo são a textura, estrutura, cor, porosidade e densidade aparente, resistência à compactação, infiltração e drenagem de água e capacidade de armazenamento* (Baena, 1982).

As principais propriedades químicas do solo são o pH, capacidade de troca catiónica, e teor de nutrientes, condutividade elétrica e matéria orgânica (Costa, 2013 & Camargo, 1999). As propriedades biológicas do solo caracterizam-se pela ciclagem de nutrientes, decomposição de MO e a formação de húmus, fixação de azoto atmosférico, controle de pragas e doenças, e auxílio no crescimento de seres vegetais (Cristofari, 2022; Thode Filho, 2017; Montanari, 2011). De acordo com Alexandre (2012), *o solo apresenta como funções principais nos ecossistemas a produção de biomassa, a regulação ambiental, a reserva de biodiversidade como habitat e como banco genética, suporte de infraestruturas, fonte de matérias-primas e repositório natural e cultural*.

O solo é a componente dos ecossistemas terrestres, afetando o balanço de energia, o ciclo de água, a ciclagem de nutrientes e produtividade do ecossistema (Reichert, 2007). O solo desempenha um papel crucial na sustentação e manutenção dos serviços ecossistémicos essenciais para a vida na Terra. Como sistema complexo em constante formação e transformação, este representa o maior reservatório de carbono nos ecossistemas terrestres (Vinciguerra, 2024).

Os nutrientes do solo influenciam a distribuição das espécies vegetais. Os macronutrientes primários e secundários que as plantas necessitam em maiores quantidades e vários micronutrientes que são os que as plantas necessitam em menores quantidades (Batista, 2018). Os nutrientes do solo apresentam forte influência na produtividade de vinha Loureiro. Os macronutrientes primários são o Azoto (N), Fósforo (P) e Potássio (K), os macronutrientes secundários o Cálcio (Ca), Magnésio (Mg) e Enxofre (S) e os micronutrientes: Boro (B), Cloro (Cl), Cobre (Cu), Ferro (Fe), Manganês (Mn), Molibdênio (Mo) e Zinco (Zn) (Faquin, 2005; Batista, 2018; Antonio, 2020).

Os dados de solo disponibilizados pelo ESDAC (Centro Europeu de Dados sobre Solos) podem ser utilizados em diversas atividades e estudos (Panagos, 2022; Panagos, 2012).

i. Capacidade de água disponível

A capacidade de água disponível no solo, representa a lâmina de água extraível na zona radicular pelas plantas (Doorenbos & Kassam, 1979; Petry, 2007). A capacidade de água disponível interfere em todo o ciclo das plantas. Como tal importa conhecer a capacidade de água disponível no solo para o bom desenvolvimento das videiras em especial para escolha porta-enxertos aquando da plantação.

ii. Densidade aparente do solo

De acordo com Nhancololo (2024) densidade aparente é *a razão entre a massa de sólidos e o volume total. A densidade aparente do solo pode ser definida como húmida, quando inclui a massa de água, e seca quando não inclui água.* A densidade aparente do solo indica os materiais que o constituem, quanto mais compacto for o solo maior a sua massa e menor volume, o que o torna diferenciador, nomeadamente para as raízes das plantas. No caso da videira, as raízes lenhosas possibilitam que mesmo em situações de maior densidade, esta cultura se consiga desenvolver (Visacro, 2002; Regina, 2006; Sartori, 2021).

iii. Carbonatos de cálcio

Os carbonatos de cálcio interferem na resistência das plantas e os seus constituintes contribuindo para uma melhor resistência a doenças e fungos (Correia, 2014; Zambolim,

2005). *O cálcio é requerido pela videira em quantidade relativamente grande, sendo absorvido com ião Ca^{+2} , o Ca é imóvel na planta* (Tecchio, 2012).

iv. Capacidade de troca catiónica (CTC)

Segundo o Junior, (2011) *dentre as variáveis que interferem na fertilidade do solo, destaca-se a capacidade de troca catiónica, a qual é função da mineralogia do solo e dos níveis de matéria orgânica presentes, tendo em vista que essas partículas apresentam cargas elétricas superficiais que variam em função do pH, mas de qualquer forma contribuem para a CTC do solo. A CTC encontra-se relacionada com a fertilidade do solo e conseqüentemente disponibilidade de nutrientes* (Mafra, 2011). *Na videira, como em qualquer outra cultura, a nutrição mineral é o processo pelo qual a planta regula o próprio desenvolvimento através da absorção, transporte e redistribuição dos elementos nutritivos* (Pereira J. R., 2014). Em síntese a CTC influencia a absorção dos nutrientes pela videira e é importantíssima na manutenção do solo e nos processos de mineralização.

v. Teor de argila

O teor de argila representa a percentagem de argila presente nos solos, os teores de argila elevados possibilitam uma grande capacidade de troca catiónica. Caso o solo tenha forte teor de argila, a infiltração de água é menor que nos solos com maior granulometria como os arenosos (Silva et al., 2018). De acordo com Albuquerque & Choudhury (1993) *deve-se evitar os solos argilosos por favorecerem o apodrecimento do sistema radicular*. Desta forma os solos não devem ser muito argilosos para as videiras. De acordo com Buckingham (1907) os grãos de argila apresentam diâmetro inferior a 0.002mm.

vi. Relação C/N

Luchese, Favero, & Lenzi (2002) define C/N como *um indicador importante da decomposição da matéria orgânica do solo, dando informação sobre o estado de humificação. Na decomposição da matéria orgânica dos solos a relação C/N é muito importante para a determinação da competição entre os nutrientes essenciais para a atividade dos microorganismos do solo*. A velocidade de decomposição da matéria orgânica e estrumes aplicados ao solo encontra-se diretamente associada à relação C/N. Esta relação influencia a disponibilidade de nutrientes essenciais e que conseqüentemente afetam o desenvolvimento das plantas.

vii. Fragmentos grosseiros

Os fragmentos grosseiros são agregados grossos ou pedras, apresenta um tamanho relativamente grande, e alteram as propriedades físicas, químicas e biológicas do solo, contribuindo de forma direta com a capacidade do solo de reter água (Martins, 2004; Garreto & Nunes, 2022).

viii. Teor de potássio

O potássio é um dos nutrientes essenciais para as plantas que regula os processos fisiológicos do solo. Este nutriente pode encontrar-se na forma mineral e orgânica no solo, afetando a adsorção pelas plantas. Ao mesmo tempo representa um papel crítico no desenvolvimento das plantas, resistência a doenças na fase da frutificação e produção (Silva, Garreto & Mendes, 2022). Rosolem (2006) refere que *as maiores perdas de K no solo ocorrem por lixiviação e está diretamente relacionada com a adição excessiva de fertilizante*.

ix. Teor de azoto

O azoto é um dos elementos mais conhecidos e mais importantes na agricultura e natureza. O teor de azoto representa a quantidade do elemento dinâmico e que facilmente é lixiviado. O ciclo do azoto é um dos processos mais importantes e complexos que ocorre na natureza. Este nutriente encontra-se presente em todas as formas de vida existente na terra (Silva, Garreto & Mendes, 2022).

x. Teor de fosforo

Taiz et al. (2017) define fósforo (P) como um macronutriente que integra o grupo de nutrientes importantes em reações de armazenamento de energia ou na manutenção da integridade estrutural das plantas. O teor de fosforo representa a quantidade do nutriente fosforo no solo, este é essencial para todas as formas de vida (Lima, 2018).

xi. pH da água

O pH da água no solo é afetado por as alterações climáticas e corretivos aplicados ao solo, embora as videiras tolerem solos um pouco ácidos. O pH não pode exceder valores limite que inibem o desenvolvimento das plantas, nomeadamente por o pH do solo estar diretamente associados á capacidade de troca catiónica e que por sua vez isso limita a adsorção da solução do solo pelas raízes das plantas (Oliveira et al., 2010; CVRVV).

xii. Teor de areia

O teor de areia influencia a infiltração da água e a circulação de ar. Esta componente permite o bom desenvolvimento das raízes das culturas, dependendo das suas necessidades hídricas e de nutrientes (Sobrinho, 2003). De acordo com Buckingham (1907) os grãos de areia apresentam diâmetro entre 0.05 e 2mm.

xiii. Teor de limo

O teor de limo promove a retenção de água pelo solo, está entre a areia e a argila na retenção de água devido ao tamanho das suas partículas. De acordo com Buckingham (1907) os grãos de limo apresenta um diâmetro entre 0.002 e 0.05 mm.

3.2. Descrição da casta Loureiro

A casta Loureiro é uma das principais responsáveis pela afirmação dos vinhos verdes brancos das últimas décadas (Almeida, 2021). *O Loureiro será uma das castas com maior importância na região dos Vinhos Verdes a nível económico. É uma casta muito fértil e produtiva, sendo que o seu comportamento é condicionado pelo terroir, pelo sistema de condução e pelo porta-enxerto utilizado, no entanto, quando a produção é demasiado elevada existem problemas de maturação o que leva a uma elevada acidez e consequentemente a uma fraca expressão do seu aroma varietal* (Magalhães et al., 2011).

As características das uvas desta casta conferem aromas nobres e distintos na produção de vinho branco. *A casta Loureiro caracteriza-se por ser recomendada em grande parte da Região Demarcada, embora com maior adaptação às zonas do litoral Lima* (Genisheva, 2007).

As principais características da videira da casta Loureiro são as folhas adultas com tamanho médio e homogéneo quando a planta se encontra em condições de solo e clima adequados. As mesmas apresentam cinco lóbulos e o limbo verde médio irregular. Os cachos de uva da casta Loureiro são grandes e pouco compactos relativamente a outras castas brancas, enquanto os bagos são médios com tamanho muito aproximado. A sua cor é relativamente uniforme quando maduros, sendo verdes e amarelados (Figura 3.2).

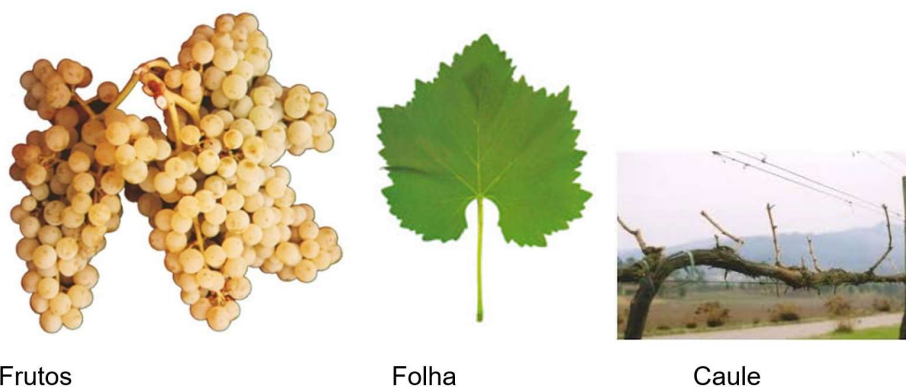


Figura 3.2- Fruto, Folha e caule da casta Loureiro (Fonte: Dias, 2017; Pinheiro, 2019; Infovini)

De acordo com a CVRVV a casta Loureiro é uma casta de expansão em toda a região, e como mais adaptada às zonas litoral e menos cultivadas em zonas interiores. De acordo

com Wine e Stuff (2020) a *casta Loureiro apresenta um vigor médio e uma produtividade elevada (10000 a 18000kg/ha)*. A casta Loureiro caracteriza-se por ser uma cultura exigente em condições bióticas e abióticas, que por sua vez caso sejam alteradas a qualidade e quantidade é influenciada, as condições de solo para uma boa produção de casta Loureiro assentam sobre os metais presentes, a matéria orgânica, o tipo de rocha mais abundante no solo e a sua permeabilidade.

As modificações climáticas e, em especial, o aumento da temperatura do ar e a modificação da distribuição e das frequências de chuvas podem originar impactos na produção de uva e na qualidade do vinho, e podem causar modificação na área de cultura e nas variedades cultivadas (Jones & Goodrich, 2008). A casta Loureiro prefere locais com uma temperatura média anual moderada, que garantem condições de crescimento favorável, ao desenvolvimento vegetativo e amadurecimento de uvas adequado. A precipitação média anual deve ser moderada, suficiente para atender as necessidades hídricas da videira o longo do ciclo de crescimento, mas não em excesso causando problemas de encharcamento.

Nas estações de primavera e outono prefere precipitação mais significativa para os estágios críticos de crescimento, desenvolvimento e maturação de uvas. Segundo Back & Bruna (2009), *a videira pode ser cultivada sem irrigação a partir de uma precipitação anual de 500 a 600 mm*. As temperaturas mínimas e máximas nas estações devem ser adequadas, as temperaturas máximas das estações devem ocorrer nas estações mais quentes verão e primavera, evitando extremos de calor que prejudicam as videiras nomeadamente quando se encontra em dormência, as temperaturas mínimas devem ocorrer no inverno sem geadas na primavera que danifica os gomos e flores em desenvolvimento.

As uvas da casta Loureiro desenvolvem-se melhor em clima marítimo com temperaturas amenas e altos níveis de humidade. O clima deve ter uma variação térmica diurna significativa, com temperaturas diurnas quentes e noites mais frias, o que ajuda a preservar a acidez e os aromas das uvas. A precipitação durante a estação de crescimento é essencial, mas solos bem drenados também são necessários para evitar alagamentos e doenças relacionadas. *O Clima da sub-região do Lima é Atlântico, caracterizado por precipitações anuais relativamente elevadas e verões relativamente amenos* (Fraga et al, 2014).

As videiras de Loureiro preferem solos bem drenados com uma fertilidade moderada, e tipo de solos arenosos ou franco arenosos, que proporcionam uma boa drenagem e arejamento para as raízes da planta. A casta Loureiro apresenta boa adaptação a solo granítico e xistosos muito encontrados na região dos vinhos verdes.

A hidrografia do norte de Portugal é influenciada pelo relevo, estando presente em todo o norte. A água influencia a produção vitícola e adaptação das castas vitícolas. De acordo com Kin et al. (2020) *a água é um fator que influencia significativamente o rendimento das culturas*. Prefere locais com rugosidade moderada não afetando a orientação solar e a drenagem. O pH mais adequado para estas videiras deve estar compreendido entre valores 5,5 e 6,5 (CVRVV). Ou seja, dão preferência a solos um pouco ácidos que por sua vez melhoram a qualidade das uvas. As vinhas Loureiro beneficiam da inclinação de terrenos na drenagem, arejamento do solo e exposição solar. Preferem locais voltados a sul, devido a luz solar e calor adequado para o bom amadurecimento das uvas. A altitude mais elevada, apresenta temperaturas mais frias que favorecem o período de maturação. Para a agricultura em geral recomenda se 20% de argila (Ha & Schleiger, 2004).

Para o cultura da casta Loureiro, é preferível um solo com uma percentagem moderada de argila, geralmente na faixa de 10% a 30%. Para a agricultura em geral recomenda se 40% de areia (Ha & Schleiger, 2004). Para o cultura da casta Loureiro, é preferível um solo com uma proporção moderada de areia, que geralmente varia entre 30% a 50%. Para a agricultura em geral recomenda se 50% de limo (Ha & Schleiger, 2004). Um teor de limo no solo em torno de 40% a 60% é geralmente considerado adequado para o cultura da casta Loureiro.

A casta Loureiro prefere índice de carga térmica moderados, com temperaturas adequadas. O solo tolera humidade do solo, mas a topografia deve facilitar a drenagem de água. A variedade Loureiro da preferência a solos com capacidade de troca catiónica moderada a alta que garante a boa disponibilidade de nutrientes as plantas. Prefere a relação C/N equilibrada para boa disponibilidade de nutrientes as plantas.

Quadro 3.1- Síntese das características ideais para a casta Loureiro

Temperatura media anual	12°C e 18°C (Oliveira, 2001)
Precipitação media anual	Moderada (Back & Bruna, 2009)

Precipitação mínima anual	500 a 600 mm (Back & Bruna, 2009)
Precipitação mais significativa	Primavera e outono (Maia, 2013)
Temperaturas máximas das estações	Nas estações mais quentes verão e primavera
pH	5,5 e 6,5 (CVRVV)
Percentagem moderada de argila	10% a 30% (Ha & Schleiger, 2004)
Proporção moderada de areia	30% a 50% (Ha & Schleiger, 2004)
Teor de limo	40% a 60% (Ha & Schleiger, 2004)
Capacidade de troca catiónica	Moderada a alta
Relação C/N	Equilibrada

Neste momento a casta Loureiro não deve ser plantada sem porta-enxerto devido ao risco de infestação por filoxera como tal deve-se recorrer a porta-enxertos resistentes a essa praga. Em Portugal as vinhas, devido às alterações que os ecossistemas sofrem ao longos dos anos e por doenças que surgem por outros seres vivos, por as alterações geológicas e alterações climáticas, as videiras são enxertadas em porta enxertos de origem americana, dependendo da variedade de uvas cultivadas, estes caracteriza-se principalmente pela resistência que concedem às videiras contra os nemátodos e á filoxera (Martins et al., 1981; Leao, 2004). De acordo com a CVRVV a casta de Loureiro é uma casta de vigor médio e de boa afinidade com os porta-enxertos SO4, 196 -17, 101-14 e 1103-P.

Quadro 3.2- Características dos porta-enxertos (Fonte: Adaptado de CVRVV)

	Denominação dos porta enxertos			
	SO4	196-17	101-14	1103-P
Vigor	Médio	Médio	Médio a fraco	Muito vigoroso
Resposta ao enraizamento	Bom	Bom	Bom	Bom
Resposta á enxertia	Boa	Boa	Boa	Boa
Resistência ao calcário	17-18%	6%	9%	17-19%
Resistência à secura	Sensível	Média	Sensível	Boa
Resposta à humidade	Tolerante	Boa	Tolerante	Moderadamente tolerante
Resistência a nemátodos	Boa	Fraca	Média	Média

Resistência à acidez	Boa	Muito Boa	Sensível	Média
Ação sobre o ciclo vegetativo	Adianta pouco	Adianta pouco	Adianta muito	Retarda um pouco
pH	Entre 5.6 e 6.5	Entre 5.6 e 6.5	Entre 5.6 e 6.5	Entre 5.6 e 6.5

Estes porta-enxertos de uma forma geral têm características aproximadas e são resistentes à filoxera (grande praga devastadora e preocupante na viticultura), o que permite estudar a partir destes, a casta Loureiro na sua adaptação que no momento está condicionada a estes (Martins et al., 1981).

O desenvolvimento da videira pode ser dividido em eventos periódicos (fenológicos), que são fortemente influenciados pelo tempo e pelo clima (Jones & Davis, 2000). O clima é o fator mais importante na frutificação das videiras, e influi fundamentalmente através da temperatura e da luminosidade. Os fatores ambientais que afetam o crescimento das videiras, afetam também a formação e o desenvolvimento da gema e a sua diferenciação reprodutiva de forma generalizada (Fernández, 1990).

De acordo com Magalhães (2008) *o ciclo biológico da videira pode se dividir em duas grandes fases: a fase de atividade vegetativa e a fase do repouso vegetativo. A fase do repouso vegetativo que vai desde queda da folha até ao choro da videira e posteriormente abrolhamento, denomina-se como o período de dormência da videira. Para a videira esta fase caracteriza-se como a uma das fases mais importantes para esta cultura pois desencadeiam se uma serie de transformações químicas na videira essenciais para que o próximo ano de produção possa ter uma produção rentável (Machado, 2010).*

Barradas (1978) define a dormência como *a fase fenológica de repouso vegetativo que ocorre anualmente em cada ciclo. Fisiologicamente a dormência ocorre em resposta ao fotoperíodo decrescente, o ácido mevalónico sob ação da luz e do fitocromo transforma-se em ácido abíssico. Este inibe a ação ou síntese de RNA, consequentemente de proteínas, determinando assim que a atividade metabólica caia a níveis baixíssimos e a planta entre em repouso vegetativo. A fase da atividade vegetativa ou vida ativa da videira é o desenvolvimento da videira desde o abrolhamento até á queda da folha que se caracteriza como a altura que as características do clima estão propicias para o crescimento e ciclo reprodutivo e vegetativo da planta (Machado, 2010). No gráfico seguinte estão*

Essas bandas permitem uma análise detalhada de diversos aspetos da superfície terrestre, incluindo vegetação, solo e água. Além disso, as bandas do Sentinel-2 são amplamente utilizadas para a deteção remota de espécies e tipos de vegetação (Crioni, 2024; Guerra, 2024), o que é crucial para aplicações como o acompanhamento ambiental, a agricultura de precisão e a gestão de desastres (Crioni, 2024). Por meio da análise dessas bandas, é possível identificar e distinguir diferentes culturas e variedades de cultura, culturas, monitorar a saúde e o stress das vegetações (Belloli, 2019; Pereira et al., 2016; Karakizi & Oikonomou, 2016; Santos et al., 2019).

Para obter as áreas de treino referentes às castas presentes na sub-região do Lima foi descarregada do Copernicus uma imagem satélite (Sentinel 2) referente à data 30/08/2023 (S2B_MSIL2A2023_0830T113319_N0509). A área de estudo não apresenta presença de nuvens. A opção por finais de agosto baseou-se na época de boa maturação em várias castas e a coloração dos frutos e folhas diferenciada.

1. Bandas do Sentinel-2 Utilizadas

Para distinguir parcelas de vinha por castas, foram seleccionadas as seguintes bandas do Sentinel-2 (Copernicus Sentinel-2, 2021):

- i. Banda 1 (Aerosol): Sensível à presença de aerossóis na atmosfera.
- ii. Banda 2 (Blue): Captura luz azul, útil para detetar água e características do solo.
- iii. Banda 3 (Green): Captura luz verde, essencial para identificar a vegetação.
- iv. Banda 4 (Red): Captura luz vermelha, importante para calcular índices de vegetação.
- v. Banda 5 (Red Edge 1), Banda 6 (Red Edge 2), Banda 7 (Red Edge 3): Sensíveis ao teor de clorofila, úteis para distinguir diferentes tipos de vegetação.
- vi. Banda 8 (NIR): Captura infravermelho próximo, crucial para calcular índices de vegetação.
- vii. Banda 8A (Narrow NIR): Similar à Banda 8, mas com largura de banda mais estreita.
- viii. Banda 9 (Water Vapour): Sensível ao vapor de água na atmosfera.
- ix. Banda 11 (SWIR 2), Banda 12 (SWIR 3): Capturam infravermelho de onda curta, úteis para caracterizar o solo e a vegetação.

Essas bandas fornecem informações detalhadas sobre diferentes partes do espectro eletromagnético, facilitando a distinção entre diferentes castas de vinha (Karakizi, 2016).

2. Cálculo dos Índices de Vegetação

Para melhorar a distinção entre parcelas de vinha e suas castas, foram calculados três índices de vegetação usando as bandas selecionadas.

i. Índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI)

Segundo Baptista (2020) *o NDVI relaciona a absorção e reflexão do tecido vegetal identificando a densidade da biomassa e a saúde da cobertura vegetal*. De acordo com Meyers, (2014) *estudos desenvolvidos em vinhas conduzidos em sistemas de condução vertical na França, Itália, Grécia e Estados Unidos demonstraram o potencial do NDVI para estimar o índice de área foliar e o vigor da videira*. Arab et al. (2021) referem que *o NDVI apresenta o potencial de avaliar a produtividade dos vinhas. O NDVI também pode ser usado para determinar tipos e, às vezes, espécies de vegetação com base na reflectância* (Altaweel, 2017).

Equação 3.14- Índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI)

$$NDVI = \frac{(nir_band - red_band)}{(nir_band + red_band)}$$

ii. Índice de borda vermelha de diferença normalizada (NDRE)

De acordo com Boiarskii & Hasegawa (2019) *o NDRE é sensível ao teor de clorofila*. A ideia de utilizar este índice incide na característica nas videiras brancas e tintas ter uma coloração diferente nas folhas na maturação. De acordo com Garrido (1999) *a folhagem pode tomar a coloração avermelhada nas videiras tintas a partir do início da maturação*. Desta forma espera-se que este auxilie na identificação de diferentes castas de vinha.

Equação 3.15- Índice de borda vermelha de diferença normalizada (NDRE)

$$NDRE = \frac{(nir_band - red_edge_band)}{(nir_band + red_edge_band)}$$

iii. Índice de Vegetação por Diferença Normalizada Verde (GNDVI)

O GNDVI é capaz de fornecer informações sobre o estado de saúde da videira através da determinação da variabilidade dos parâmetros fisiológicos da vegetação (Daglio, 2022; Ferro, 2023; Tosin, 2022). Com este índice pretende-se avaliar o conteúdo de clorofila, ajudando a diferenciar tipos de cultura e castas de vinha.

Equação 3.16- Índice de Vegetação por Diferença Normalizada Verde (GNDVI)

$$GNDVI = \frac{(nir_band - green_band)}{(nir_band + green_band)}$$

3. Escolha de Polígonos

Foram seleccionadas áreas de interesse com tamanhos variando entre 1 e 2 hectares, extraídas da shapefile do ISIP IFAP (2023) (<https://www.ifap.pt/isip/ows/>). Essas áreas foram escolhidas para permitir uma análise detalhada das parcelas de vinha e suas castas.

4. Extração de Valores e Análise

Para cada polígono, foram extraídos os valores das 12 bandas do Sentinel-2 e dos índices de vegetação calculados. Esses dados foram organizados em uma Quadro que inclui:

- i. ID: Identificador do polígono.
- ii. Valores das 12 bandas: Informações espectrais de cada banda.
- iii. Valores dos índices: NDVI, NDRE, GNDVI.

5. Classificação de Áreas de Treino

Para a classificação das áreas de treino e a distinção das castas de vinha utilizou-se o classificador K-Means.

As características da folhagem da videira são diferentes entre castas. De acordo com Cinat (2019) *o algoritmo k-means é o mais estável sobre a identificação no orto mosaico e sub-regiões. Ele apresenta uma capacidade muito boa de não superestimar as videiras em cada condição*

O K-Means é um algoritmo de aprendizado de máquina não supervisionado que identifica padrões ou agrupamentos em um conjunto de dados sem a necessidade de rótulos pré-definidos. *Ele divide um conjunto de dados em K clusters, onde cada ponto pertence ao cluster com o centróide mais próximo* (Spezia, 2024). O K-Means tenta minimizar a variabilidade dentro dos clusters e maximizar a variabilidade entre os clusters. Como o K-Means opera:

- i. Definição do Número de Clusters: O usuário define o número de clusters desejados (K), que representa a quantidade de grupos em que o algoritmo tentará dividir os dados (Rocha, 2021).
- ii. Inicialização: O K-Means começa com a seleção inicial de K centros de cluster (centróides), que podem ser escolhidos aleatoriamente a partir dos dados (Borges, 2010).
- iii. Atribuição de Dados: Cada ponto de dado é atribuído ao cluster cujo centróide está mais próximo, medido pela distância euclidiana entre o ponto e o centróide (Borges, 2010).
- iv. Atualização dos Centróides: Após a atribuição, os centróides são recalculados. Cada centróide é movido para a média das posições dos pontos de dados atribuídos a ele. Os passos de atribuição e atualização são repetidos até que os centróides não mudem significativamente ou até que os pontos de dados não mudem de cluster. O processo continua até que o algoritmo encontre uma solução estável (Oliveira, 2018).
- v. Resultado: O K-Means fornece uma divisão dos dados em K clusters, com cada ponto pertencendo ao cluster cujo centróide está mais próximo (Oliveira, 2018).

Esta metodologia detalha como as bandas do Sentinel-2 e índices de vegetação foram utilizados para distinguir parcelas de vinha por castas, e como o K-Means foi aplicado para classificar essas áreas.

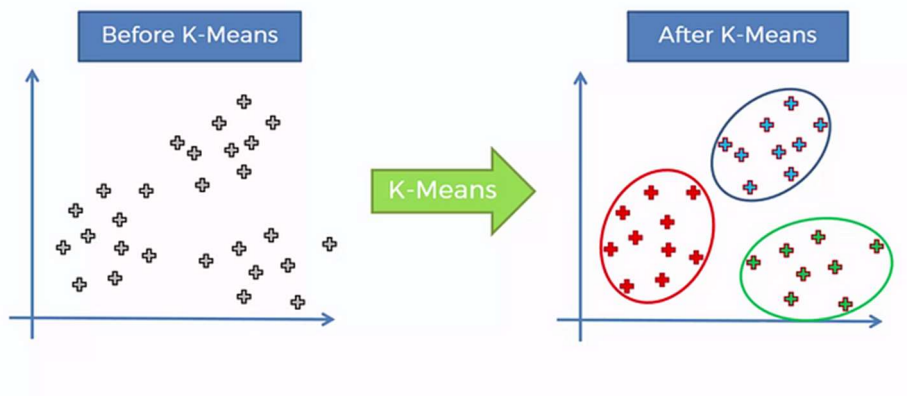


Figura 3.4- Exemplo de agrupamento feito com k-Means (Fonte: Silva, 2020)

Na figura seguinte está presente o fluxo de trabalho descrito anteriormente e seguido para a distinção de áreas de treino.

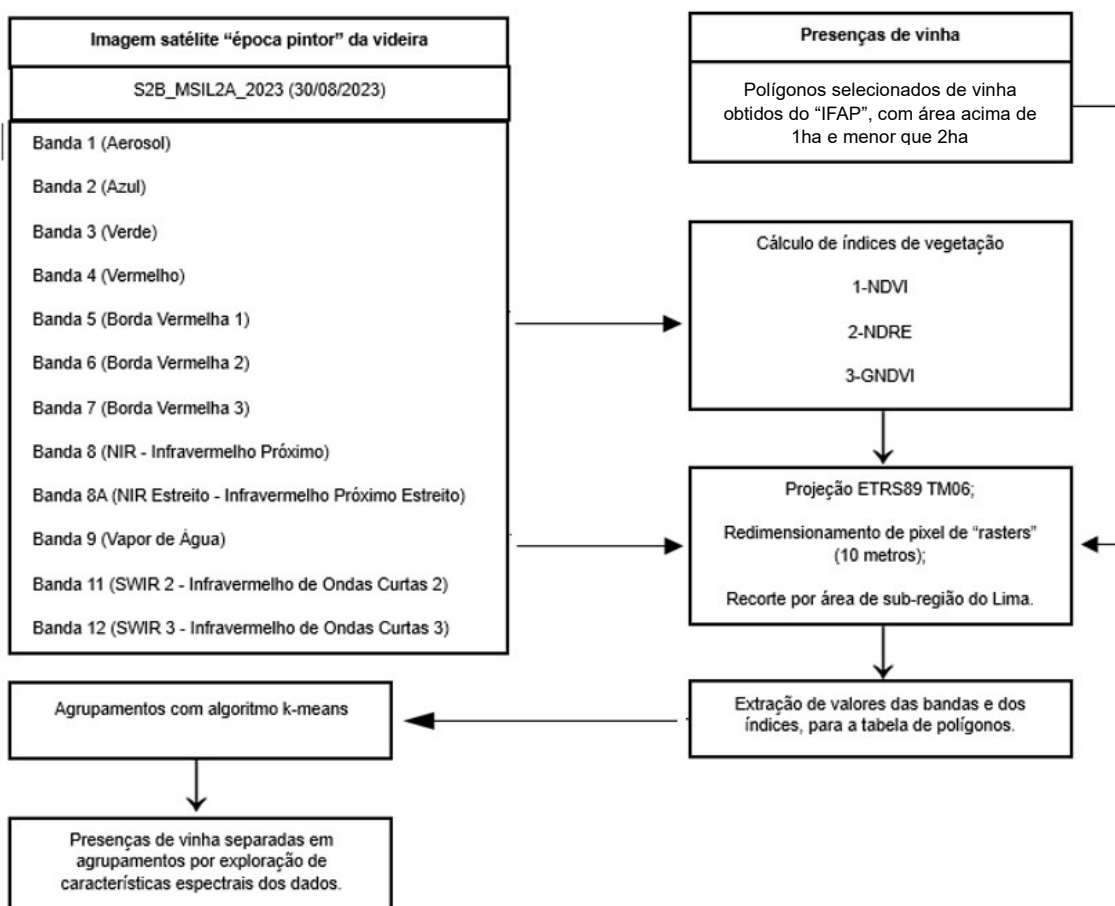


Figura 3.5. Fluxo sintetizado da obtenção da distribuição das áreas de treino

3.4. Os dados socioambientais para a cartografia de aptidão cultural

Os principais dados de base para o estudo da vinha são dados de clima, fisiografia e morfologia associados a características pedológicas, radiação solar e a socioeconomia que influenciam o desenvolvimento de espécies vegetais, bem como os regulamentos e legislações moderadoras que impõem limites à produção como defesa de interesses e proteção dos ecossistemas.

Os dados bioclimáticos utilizados possuem o sistema geográfico European_1950_Albers Equal_Area_Conic e apresentam um tamanho de pixel de 1000 metros em todos indicadores, esses foram obtidos do ClimateEu (Marchi et al., 2020) (Quadro 3.3).

Quadro 3.3- Dados de bioclima

Nome	Abreviatura
Temperatura média anual	MAT
Temperatura média do mês mais quente	MWMT
Temperatura média do mês mais frio	MCMT
Diferença de temperatura MWMT e MCMT	TD
Precipitação média anual	MAP
Precipitação média no Verão	MSP
Calor anual: índice de humidade	AH:M
Calor de verão: índice de umidade	SH:M
Graus-dias inferiores a 0°C	DD<0
Graus-dias acima de 5°C	DD>5
Graus-dias inferiores a 18°C	DD<18
Graus-dias acima de 18°C	DD>18
Número de dias sem geada	NFFD
Período livre de geada	PFF
A data juliana em que o FFP começa	bFFP
A data juliana em que o FFP termina	eFFP
Precipitação como neve (mm) entre agosto do ano anterior e julho do ano corrente	PAS
Temperatura mínima extrema acima de 30 anos	EMT
Evaporação de referência de Hargreaves	Eref
Hargreaves déficit de humidade climática	CMD
Temperatura média inverno	TAV_wt

Temperatura média primavera	TAV_sp
Temperatura média verão	TAV_sm
Temperatura média outono	TAV_at
Temperatura máxima média no inverno	TMAX_wt
Temperatura máxima média da primavera	TMAX_sp
Temperatura máxima média do verão	TMAX_sm
Temperatura máxima média do outono	TMAX_at
Temperatura mínima média no inverno	TMIN_wt
Temperatura mínima média da primavera	TMIN_sp
Temperatura mínima média do verão	TMIN_sm
Temperatura mínima média do outono	TMIN_at
Precipitação de inverno	Prec_wt
Precipitação de primavera	Prec_sp
Precipitação de verão	Prec_sm
Precipitação de outono	Prec_at
Temperaturas médias de janeiro – dezembro	Tave01 – Tave12
Temperaturas médias máximas janeiro - dezembro	Tmax01 – Tmax12
Temperaturas médias mínimas janeiro - dezembro	Tmin01 – Tmin12
Precipitação janeiro – dezembro	Prec01 – Prec12

Quadro 3.4- Dados de fisiografia e morfologia

Fonte de dados	Nome	Tamanho de pixel ou escala	Sistema geográfico	Abreviatura
(INAG, 2013)	Hipsometria	25 m	ETRS89 / Portugal TM06	Hipsometria
(APA-SNIAmb)	Rede hidrográfica	1:25000	ETRS89 / Portugal TM06	vw_hidcod_25k_ptcont_1

Os dados relativos às características pedológicas foram obtidos do ESDAC e apresentam tamanho de pixel de 500 metros e sistema geográfico GRS_1980_IUGG_1980_Lambert_Azimuthal_Equal_Area (ESDAC; Panagos, 2012; Panagos, 2022; Fernández-Ugalde et al., 2022; Orgiazzi et al., 2018). No quadro 3.5 estão os seus nomes e abreviaturas.

Quadro 3.5- Dados das características pedológicas

Nome	Abreviatura
Capacidade de água disponível	AWC_EU23
Densidade aparente do solo	BULKDENSITY_EU23
Carbonatos de cálcio	CACO3
Capacidade de troca catiónica	CEC
Teor de Argila	CLAY_EU
Relação C/N	CN
Fragmentos grosseiros	COURSESFRAGMENTS_EU23
Teor de potássio	K
Teor de azoto	N
Teor de fósforo	P
Ph na água	PH_H2O
Teor de Areia	SAND_EU23
Teor de limo	SILT_EU23

Os dados relativos á radiação solar foram obtidos do Global Solar Atlas e apresentam tamanho de pixel de 250 metros e sistema geográfico WGS 84 (Global Solar Atlas 2.0). No quadro 3.6 estão seus nomes e abreviaturas.

Quadro 3.6- Dados de radiação solar

Nome	Abreviatura
Irradiação Horizontal Global	GHI
Irradiação Normal Direta	DNI
Irradiação Horizontal Difusa	DIF

Os dados socioeconómicos possuem todos o mesmo sistema geográfico ETRS89 / Portugal TM06, no quadro 3.7 apresenta as suas fontes, nomes e abreviaturas.

Quadro 3.7- Dados socioeconómicos

Fonte de dados	Nome	Abreviatura
(Infraestruturas de Portugal, S.A., 2024)	Rede Rodoviária Nacional	Rede_Rodoviaria

(Direção Geral do Território, 2018)	Carta de ocupação do solo	COS2018
(Direção Geral do Território, 2023)	Carta Administrativa Oficial de Portugal	CAOP2023
(IFAP, 2023)	Parcelas e Ocupações de Solo	iSIP
(Direção Geral do Território, 2023)	OrtoSat 30 cm - Portugal Continental - 2023	OrtoSat2023

3.5. O modelo de avaliação da cartografia de aptidão cultural

A metodologia aplicada para a criação da cartografia de aptidão cultural foi baseada num conjunto de técnicas avançadas de modelação espacial. O objetivo principal foi identificar as áreas mais adequadas para práticas culturais, levando em consideração diversas variáveis ambientais e culturais. Para isso, foi utilizado o pacote BIOMOD2 no RStudio, que oferece suporte a múltiplos algoritmos de modelação.

De acordo com Thuiller et al., (2009) *BIOMOD é uma plataforma de computador para previsão de conjunto de distribuições de espécies, permitindo o tratamento de uma gama de incertezas metodológicas em modelos e o exame de relações espécie-ambiente. BIOMOD inclui a capacidade de modelar distribuições de espécies com várias técnicas, testar modelos com uma ampla gama de abordagens, projetar distribuições de espécies em diferentes condições ambientais (por exemplo, cenários de mudança climática ou de uso da terra) e funções de dispersão. Ele permite avaliar a rotatividade temporal de espécies, traçar curvas de resposta de espécies e testar a força das interações de espécies com variáveis preditoras. BIOMOD é implementado em R e é um pacote freeware de código aberto.* A seguir, detalham-se as etapas metodológicas da distribuição atual e potencial de áreas com ênfase nos algoritmos utilizados:

Etapas 1- Recolha e Seleção de Dados

A primeira etapa consistiu na recolha de dados relevantes para a produção do modelo de aptidão cultural. Como os pontos de presença cultural georreferenciados, que foram

preparados representando áreas com diferentes castas vitícolas. Neste conjunto desenvolveu-se a seleção de variáveis explicativas que poderiam influenciar a aptidão dessas áreas, como dados ambientais (clima e índices bioclimáticos, fisiografia e morfologia, características pedológicas) e socioeconômicos (rede rodoviária) (Figura 3.6).

Etapa 2- Processamento e Formatação dos Dados

Os dados recolhidos foram processados para garantir sua compatibilidade com o pacote BIOMOD2. As variáveis explicativas, de varios formatos foram todas convertidas em camadas raster e associadas aos pontos de presença, criando um conjunto de dados geoespaciais. Essa preparação envolveu a correção de possíveis discrepâncias de resolução espacial entre as variáveis e a padronização dos dados. Todos os dados raster foram redimensionados para tamanho de 10 metros de pixel, no sistema de coordenadas ETRS89, recortados pela area de estudo e preenchimento dos NA values (valores ausentes). Seguidamente foi realizada a seleção esta foi com base na colinearidade e correlação, para isso considerou-se um valor de VIF (Fator de Inflação da Variância) aceitavel inferior a 10 e uma correlação aceitavel entre 0.8 e -0.8 nos indicadores finais (Cruz et al., 2019; Kutner et al., 2005). Sendo reproduzidas saidas finais: grafico de VIF dos indicadores, matriz de correlação e os indicadores seleccionados (Figura 3.6).

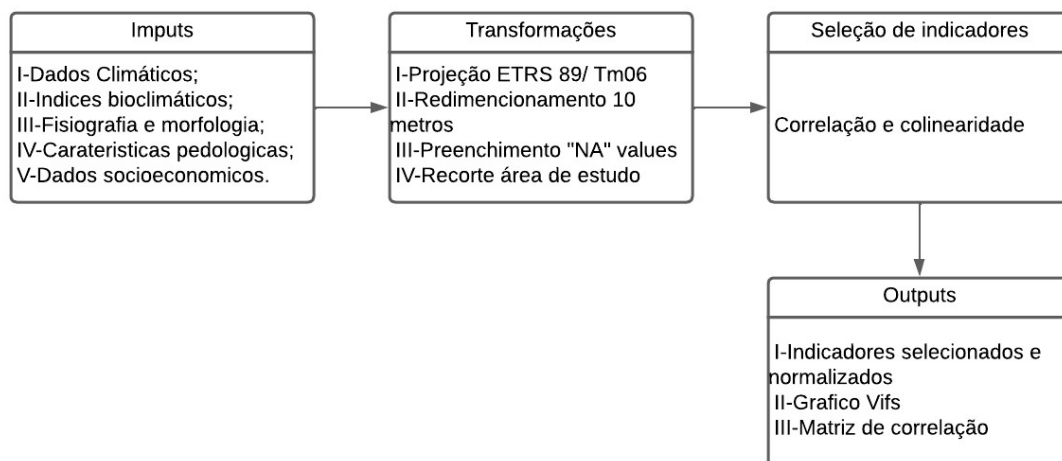


Figura 3.6- Síntese do processo de seleção de indicadores

Etapa 3- Aplicação de Múltiplos Algoritmos de modelação

Para a modelação da aptidão cultural foi criado o BIOMOD_FormatingData *esta função reúne e formata todos os dados de entrada necessários para executar modelos biomod2 . Ela suporta diferentes tipos de entradas e fornece diferentes métodos para seleccionar pseudoausências, se necessário* (Thuiller, 2024).

Seguidamente foi utilizada a função BIOMOD_Modeling de acordo com (Thuiller, 2024), *esta função permite calibrar e avaliar uma gama de técnicas de modelação para uma dada distribuição de espécies. O conjunto de dados pode ser dividido em partes de calibração/validação, e o poder preditivo dos diferentes modelos pode ser estimado usando uma gama de métricas de avaliação .*

Para a modelação da aptidão cultural, utilizou-se a abordagem de ensemble modeling, por meio de diferentes algoritmos disponíveis no pacote BIOMOD2 (Thuiller, 2024). Essa diversidade de algoritmos permite a comparação entre múltiplas abordagens de modelação e possibilita a seleção dos melhores modelos com base em critérios de desempenho.

As variáveis utilizadas no estudo cultural foram previamente selecionadas em processos anteriores, considerando cenários recorrentes e áreas de treino definidas, na inexistência de ausencias foram criadas pseudoausencias pela estrategia random para o modelo.

Os algoritmos utilizados foram:

CTA - Classification Tree Analysis (Breiman et al., 1984), um modelo baseado em árvores de decisão que segmenta os dados em subconjuntos, buscando identificar padrões nas variáveis que explicam a aptidão cultural.

FDA - Flexible Discriminant Analysis (Breiman et al., 1986; Hastie & Tibshirani, 1996) um método de discriminação flexível que adapta modelos lineares discriminantes a dados mais complexos, buscando captar as relações entre variáveis explicativas e os pontos de presença cultural.

GAM - Generalized Additive Models (Hastie & Tibshirani, 1990) este algoritmo expande os modelos lineares ao permitir termos não lineares, oferecendo maior flexibilidade para capturar relações mais complexas entre variáveis culturais e ambientais.

GBM - Generalized Boosting Models (Friedman, 2001) um algoritmo de machine learning que combina múltiplas árvores de decisão de forma sequencial, melhorando progressivamente a predição.

GLM - Generalized Linear Models (Nelder & Wedderburn, 1972) um método tradicional de modelação estatística que busca estabelecer uma relação linear entre as variáveis explicativas e a presença cultural.

MARS - Multivariate Adaptive Regression Splines (Friedman, 1991) um algoritmo não paramétrico que constrói modelos baseados em múltiplas interações e pode capturar relações não lineares de forma eficiente.

MAXENT - Maximum Entropy (Phillips, Dudík, & Schapire) *um dos algoritmos mais amplamente utilizados para modelação de nicho ecológico* (Phillips, Anderson, & Schapire, 2006). *Método de entropia máxima (MAXENT) é um método de aprendizado de máquina de uso geral com uma formulação matemática simples e precisa, e uma série de aspectos que o tornam bem adequado para modelação de distribuição de espécies* (Phillips, Anderson, & Schapire, 2006). Este algoritmo foi aplicado para prever a aptidão cultural com base na distribuição de variáveis explicativas.

MAXNET *é um novo pacote R, que implementa o Maxent usando o pacote glmnet R* (Friedman, Hastie, & Tibshirani, 2010) *ajuste de modelo. Este novo pacote aproveita a derivação do Maxent como uma forma de regressão logística infinitamente ponderada. Ele ajusta modelos Maxent usando as mesmas classes de recursos (linear, quadrática, dobradiça, etc.) e opções de regularização da versão Java,* (Phillips et al., 2017). Uma variante do MaxEnt, que introduz melhorias na modelação ao lidar com conjuntos de dados maiores e complexos, aprimorando a precisão na identificação de áreas de aptidão cultural

RF- Random Forest: *Florestas aleatórias são uma combinação de preditores de árvores, de modo que cada árvore depende dos valores de um vetor aleatório amostrado independentemente e com a mesma distribuição para todas as árvores na floresta* (Breiman, 2001). Um algoritmo de aprendizado de máquina baseado em múltiplas árvores de decisão, que oferece robustez ao lidar com grandes quantidades de dados e múltiplas variáveis.

XGBoost - Extreme Gradient Boosting (Chen & Guestrin, 2016) *é uma biblioteca de aprendizado de máquina escalável e eficiente, projetada para o método de boosting por gradiente, que combina as previsões de várias árvores de decisão para melhorar a precisão. É especialmente reconhecida por seu desempenho em cenários de competições de aprendizado de máquina* Outro método baseado em boosting de árvores de decisão,

que otimiza a performance ao iterar sobre vários modelos de forma eficiente e precisa (Chen & Guestrin, 2016).

Etapa 4- Avaliação e Comparação dos Modelos

Após a aplicação dos algoritmos, os modelos gerados foram avaliados por meio de um conjunto de métricas estatísticas calculadas automaticamente. Essas métricas permitiram verificar a capacidade preditiva e a precisão dos modelos em identificar corretamente as áreas de aptidão cultural. As principais métricas utilizadas foram: FAR (False Alarm Rate), SR (Success Ratio), Boyce Index, ROC (Receiver Operating Characteristic Curve) e AUC (Área Sob a Curva), TSS (True Skill Statistic), KAPPA, ACCURACY, BIAS (Figura 3.7).

Essas métricas presentes no package biomod foram calculadas automaticamente, proporcionando uma análise detalhada da performance de cada modelo. Esse processo automatizado permitiu comparar os algoritmos de forma eficiente e selecionar aqueles que apresentaram os melhores resultados, assegurando uma avaliação precisa e objetiva da aptidão cultural.

Etapa 5- Geração de Mapas de Aptidão Cultural

Com base nos resultados dos melhores algoritmos gerou-se um mapa de aptidão cultural inicial que representa espacialmente as áreas mais adequadas para o desenvolvimento de actividades culturais no cenário atual, focado na casta Loureiro. Classificaram-se as áreas com diferentes níveis de aptidão, criando uma peça cartográfica e uma ferramenta para o planeamento e gestão vitivinícola. Posteriormente produziram-se cartografias para mais quatro cenários temporais seguintes, que permitem analisar a evolução futura da aptidão das áreas para o cultura da casta Loureiro, tendo em conta as mudanças climáticas.

A cenarização temporal futura simulam diferentes períodos, apartir de variáveis dinâmicas, como o aumento da temperatura, as alterações da precipitação e outros factores climáticos importantes. Estes cenários são essenciais para compreender como as mudanças climáticas podem afectar a distribuição e a adaptabilidade das áreas para o cultura da casta Loureiro, uma das castas de grande importância na produção de vinho verde. Apartir desses cenários produzidos é possível compreender como a aptidão evolui,

se aumenta, se diminui, as deslocções em função das caraterísticas climáticas e caraterísticas do solo adequadas.

A abordagem ensemble (modelos de conjunto) permitiu integrar os resultados de diversos algoritmos, dando solidez e fiabilidade às cartografias produzidas (Figura 3.7).

A cartografias produzidas por fim foram filtradas com a “COS2018” para remover zonas urbanizadas e posteriormente foram criadas cartografias com os cenários climáticos em estudo para as castas.

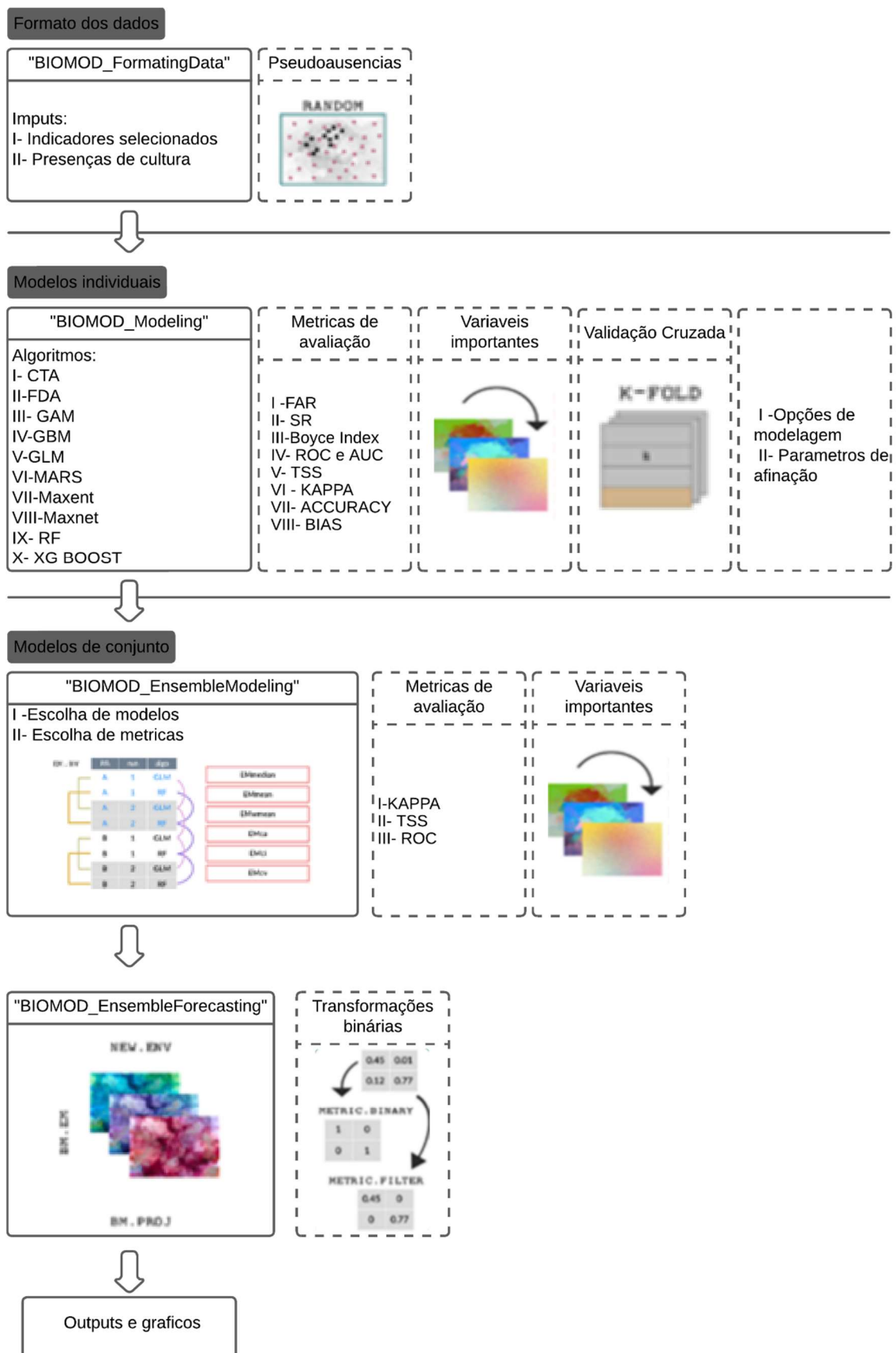


Figura 3.7- Etapas para produção do modelo distributivo em Biomod (Fonte: Adaptado de Thuiller, 2024)

Etapa 6- Interpretação dos Resultados

Os mapas gerados foram analisados e interpretados à luz dos contextos culturais e socioambientais da subregião em estudo. Essa interpretação considerou as interações entre variáveis e padrões identificados nos modelos, comparando os resultados com dados empíricos e estudos anteriores sobre a aptidão cultural da região. A combinação de múltiplos algoritmos proporcionou uma visão abrangente das áreas culturais mais relevantes.

Para complementar a análise quantitativa, foram gerados gráficos que ilustram diversos aspectos dos modelos:

Importância das Variáveis: Foram criados gráficos para visualizar a importância das variáveis explicativas de diferentes formas:

- i. Distribuição da Importância das Variáveis por Algoritmo e Variável;
- ii. Importância das Variáveis por Algoritmo, Variável e Execução;
- iii. Importância das Variáveis por Algoritmo e Execução.

Além disso, foi obtida a ordem de importância das variáveis, que detalha a relevância relativa de cada variável para a performance dos modelos. Esta ordem ajuda a identificar quais variáveis são mais influentes na previsão da aptidão cultural, fornecendo uma visão clara das principais variáveis que afetam os resultados dos modelos. Na figura 3.8 está presente um exemplo dos outputs possíveis em biomod.

Esses gráficos e a análise da ordem de importância das variáveis forneceram uma visualização clara e intuitiva, permitindo uma melhor compreensão de como cada variável contribui para a performance dos modelos. A combinação da análise visual com as métricas quantitativas possibilitou uma avaliação abrangente dos modelos e uma seleção informada dos algoritmos mais eficazes para a cartografia de aptidão cultural.

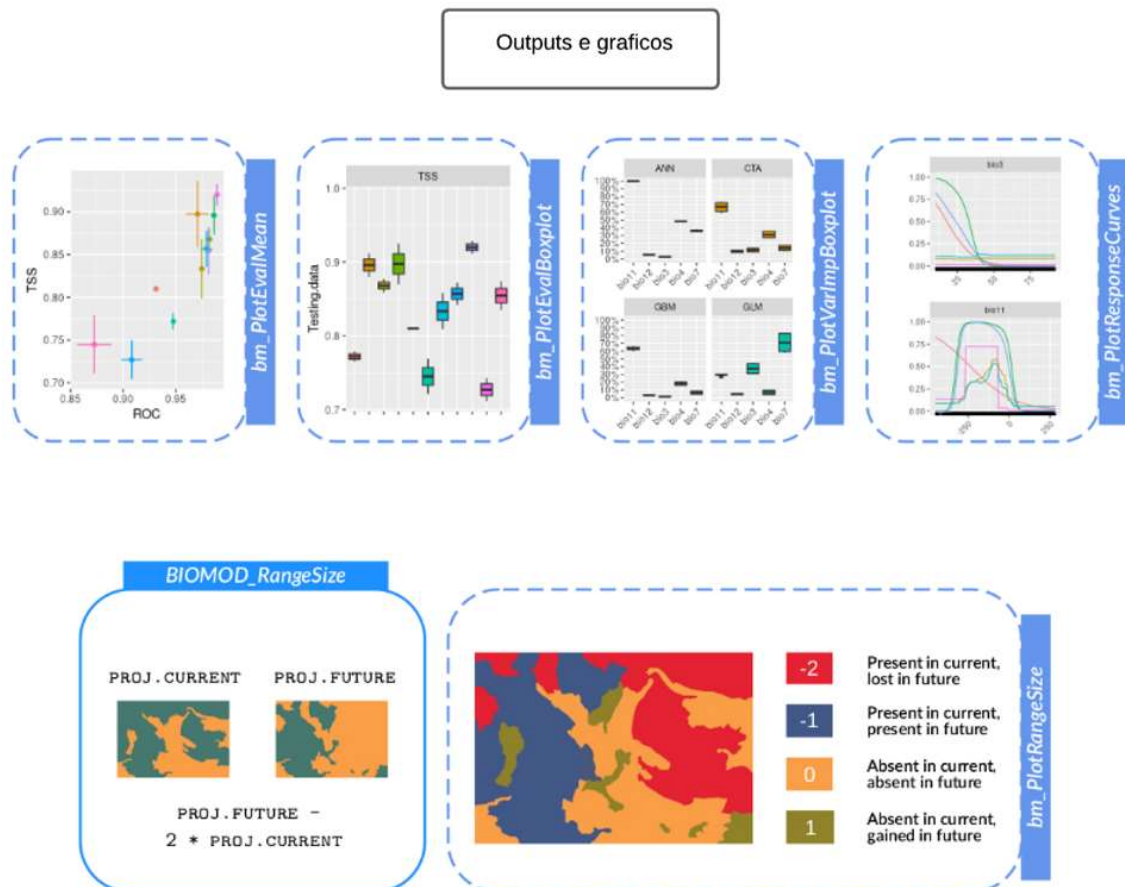


Figura 3.8- Output de análise possíveis com o package biomod (Fonte: Thuiller, 2024)

3.6. A validação dos resultados

Para a validação de resultados desenvolve-se pesquisa bibliográfica com base nos parâmetros dos modelos, nomeadamente as variáveis que o mesmo considerou importante para cada casta e compreender com base nos intervalos de valores se a casta em estudo realmente atribui preferência a essas características climáticas. Em simultâneo procuram-se trabalhos e a concordância dos locais com as área de vinhas atuais (shapefile do ISIP IFAP (2023) (<https://www.ifap.pt/isip/ows/>)).

4. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DE RESULTADOS

4.1. A sub-região do Lima

A unidade vitivinícola em estudo é a região dos vinhos verdes e surge em toda a zona noroeste de Portugal, devido às condições naturais para produção de excelentes vinhos brancos e tintos, assim como espumantes e aguardentes. Esta zona é composta por várias sub-regiões diferenciadas, devido às características de solo e clima diversas, estas sub-regiões são vulgarmente diferenciadas pelas castas que são produzidas.

Na área de estudo, sub-região do Lima (Figura 4.9), são produzidas maioritariamente castas brancas para produção de vinho. Em termos de indústria vitivinícola existem algumas adegas, com grande produção de vinho distribuídas nos concelhos, sendo a principal a Adega Cooperativa de Ponte de Lima. As características edafoclimáticas na sub-região do Lima apresentam influência atlântica particularmente no concelho de Viana do Castelo.

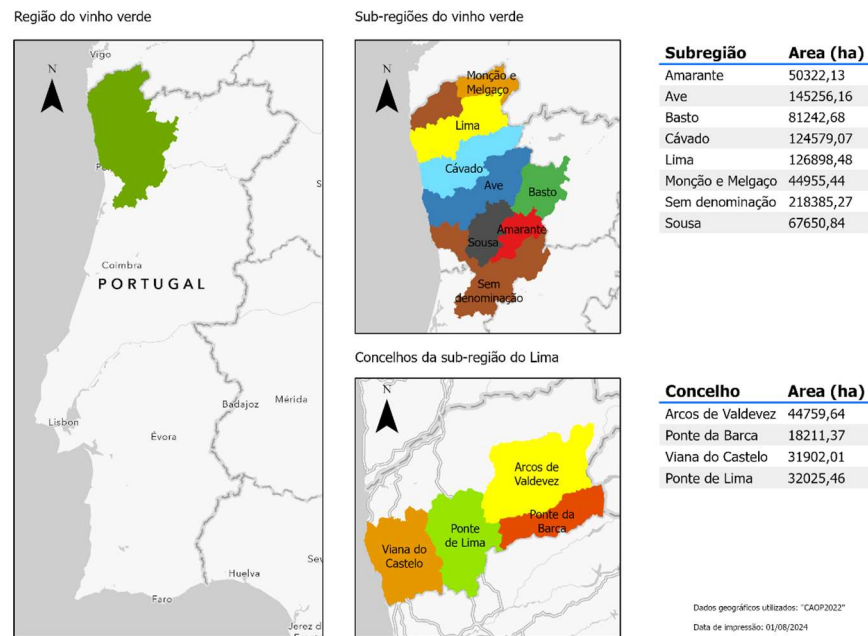


Figura 4.9. Enquadramento da área de estudo

A sub-região do Lima apresenta um cenário climático de temperaturas amenas, varia de acordo com os mapas criados entre 9 e 16° C. No cenário climático RCP 4.5 ocorre o

aumento de aproximadamente 1° C. As temperaturas médias ficam compreendidas no intervalo entre os 10 e 17° C e aumentam ao longo dos anos até 2080. No cenário climático RCP 8.5 que é o mais extremo das alterações climáticas estima-se que as temperaturas estejam compreendidas entre os 11 e 19°C, com uma subida de aproximadamente 2°C em relação ao cenário atual. Os máximos de temperatura, em todas os cenários, ocorrem na proximidade ao rio Lima (Figura 4.10).

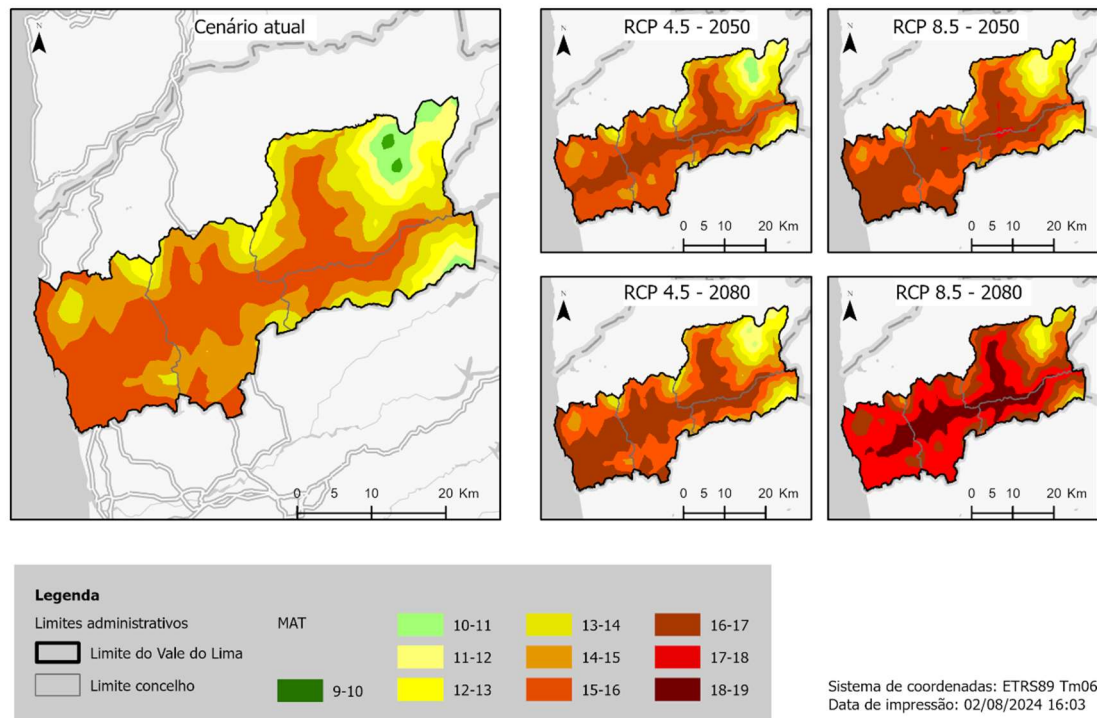


Figura 4.10. Cenários das temperaturas médias anuais (Fonte de dados: Marchi, et al., 2020)

Na sub-região do Lima a precipitação atualmente varia entre 1000 e 1600 mm, com os focos de maior precipitação nas zonas de maior altitude e na proximidade ao rio regista-se menor precipitação. Os cenários climáticos demonstram alterações na precipitação. No cenário RCP 4.5, a precipitação média anual varia entre 950 e 1600 mm, mas com redução no volume total de precipitação. Já no cenário RCP 8.5 para 2050 e 2080 verificam-se as alterações mais severas, o valor registado varia entre 950 e 1500 mm apresentando uma redução no volume total das precipitações. Ou seja, no último cenário verifica-se que poderá vir a existir condições de seca principalmente na proximidade do rio Lima (Figura 4.11).

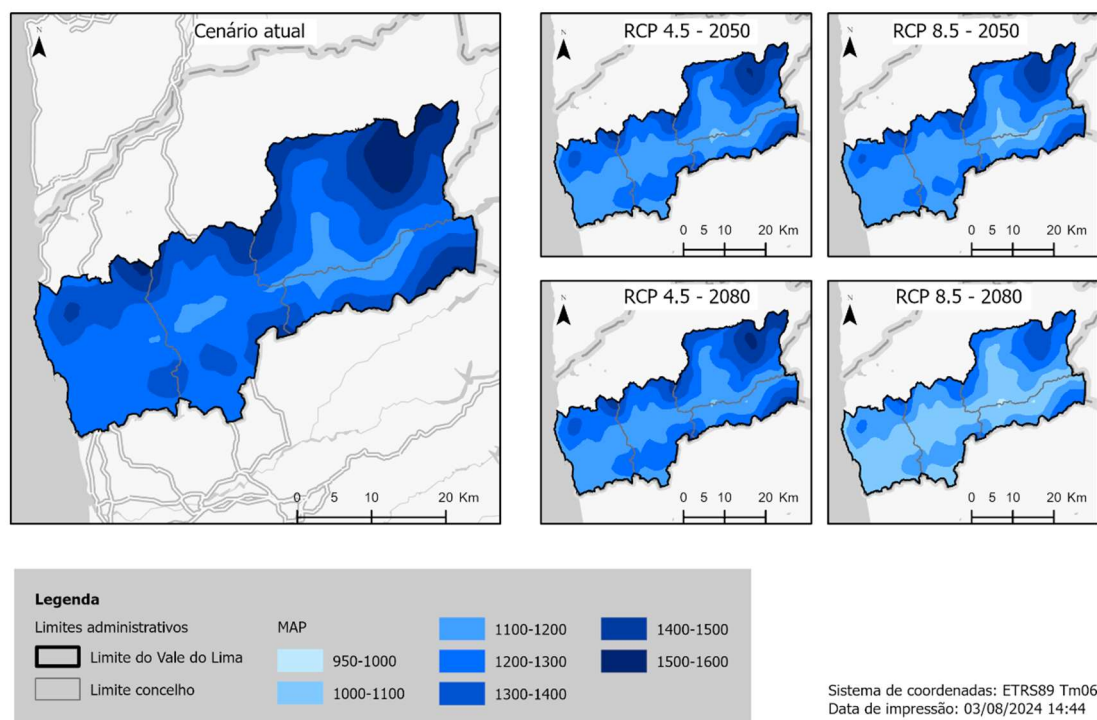


Figura 4.11- Cenários das Precipitações médias anuais (Fonte de dados: Marchi, et al., 2020)

As altitudes na sub-região são baixas na proximidade ao rio Lima (cota 0), e sobem até aos 1401 metros nos locais mais altos, relativas às zonas florestais nos concelhos de Arcos de Valdevez e de Ponte da Barca (Figura 4.12). As altitudes mais baixas são no concelho de Viana do Castelo. As menores altitudes são nos complexos urbanísticos. Na vinha as altitudes implicam forte influência na qualidade, na quantidade de uva e nas questões de fitossanidade (Figura 4.12).

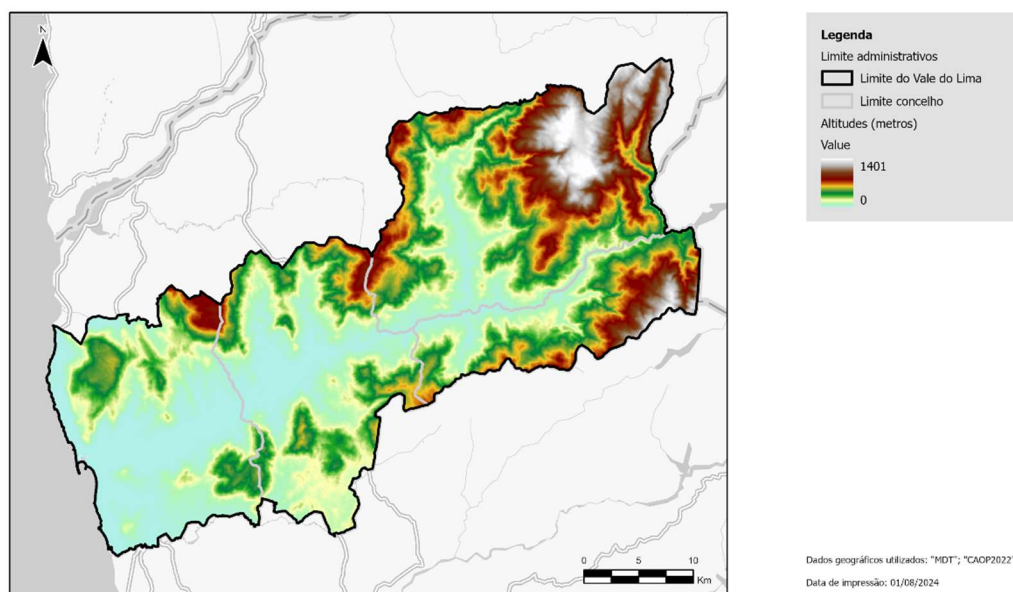


Figura 4.12- Altimetria

O declive da região apresenta uniformidade na zona edificada, nos locais florestais existe declives mais acentuados devido á composição, como os tipos de rochas presentes. Nos locais destinados a uso agrícola o declive é reduzido. Os declives mais baixos são na proximidade do rio Lima e faixas costeiras (Figura 4.13).

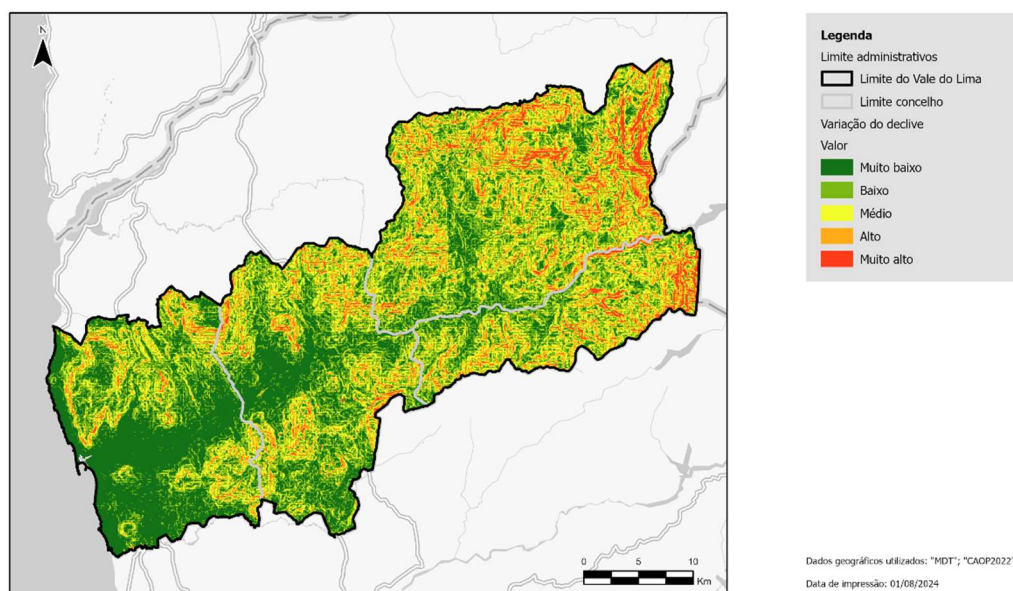


Figura 4.13- Cartografia de declives

A curvatura das encostas na região é homogénea na proximidade ao rio, mas heterogénea nos locais florestais (Figura 4.14).

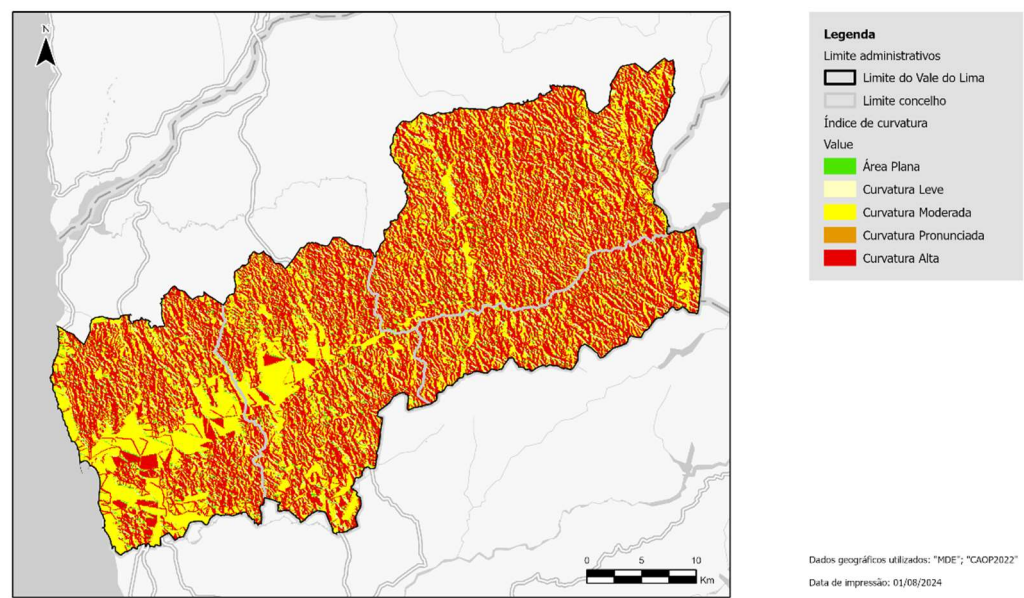


Figura 4.14- Índice de curvatura

O índice de carga térmica é diversificado em toda a sub-região devido à grande variação e orientação do declive existente (Figura 4.15).

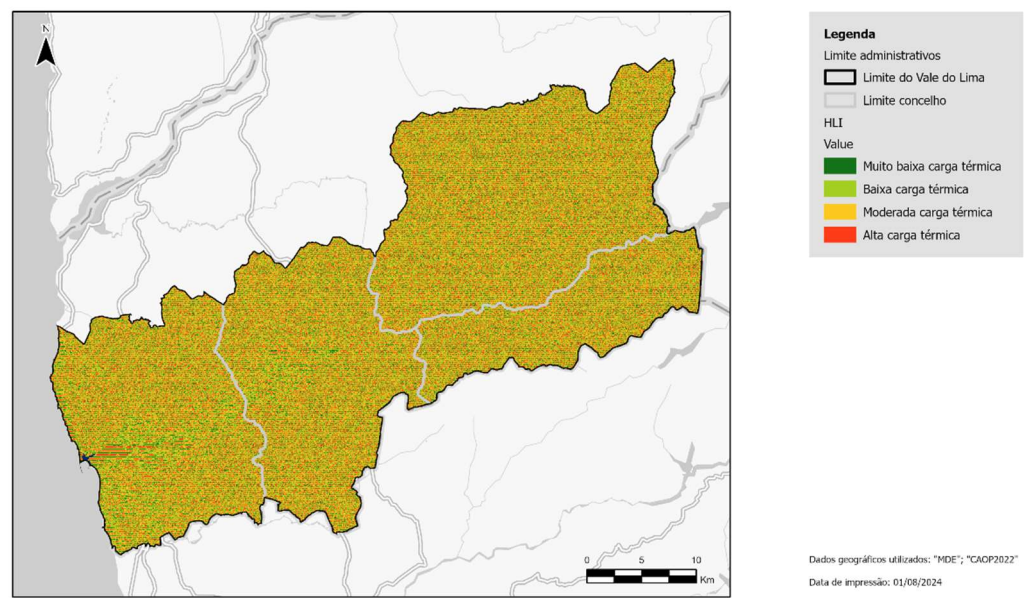


Figura 4.15- Índice de Carga térmica

As exposições solares na sub-região do Lima apresentam diferenciação por toda a sub-região. Nos locais próximos ao rio Lima caracterizam-se por ser exposições a Norte e Noroeste e nos espaços de maior altitude e as exposições solares são diversas (Figura 4.16).

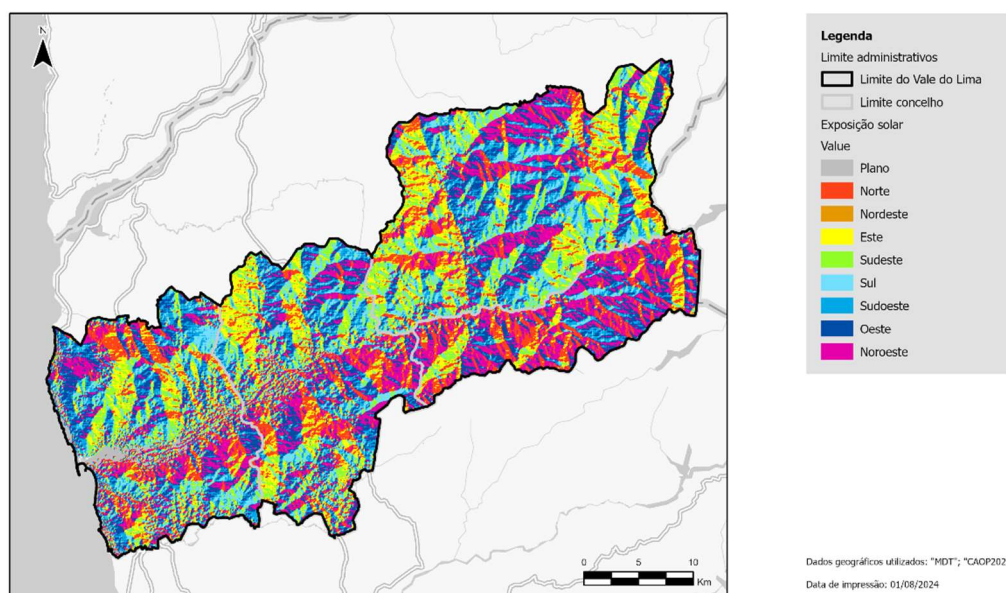


Figura 4.16- Orientações solares

O rio Lima, que atravessa os concelhos da área de estudo, influencia com a sua rede de hidrográfica e solos fluviais, a distribuição de humidade superficial e subterrânea para o distrito de Viana do Castelo (Figura 4.17).

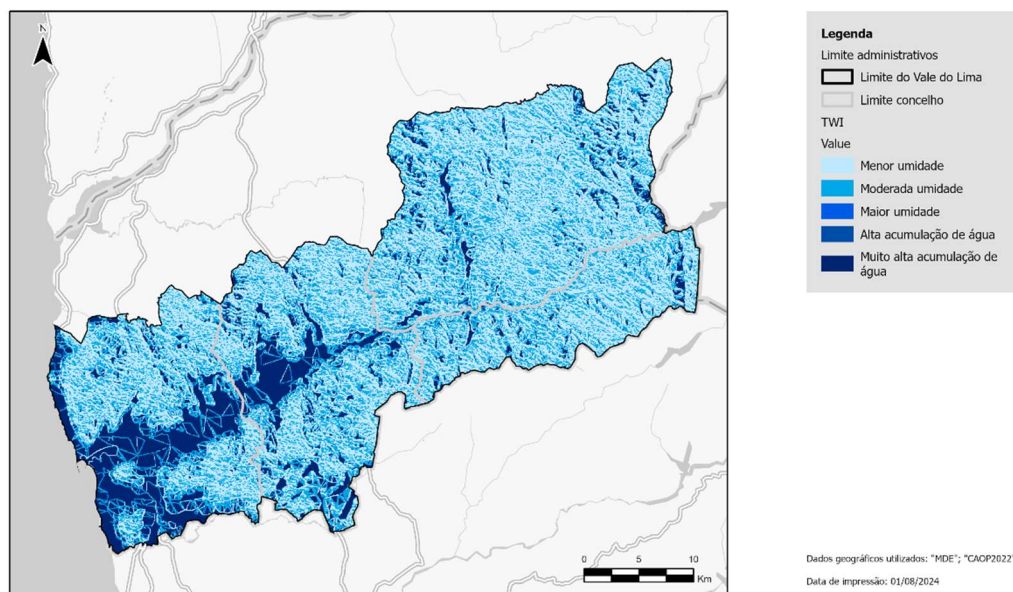


Figura 4.17- Índice topográfico de humidade

O concelho de Viana do Castelo apresenta os valores de rugosidade mais baixos, seguido pelo concelho de Ponte de Lima. Por outro lado, os concelhos de Ponte da Barca e Arcos de Valdevez apresentam maior rugosidade, registando os valores mais elevados em toda a sub-região (Figura 4.18).

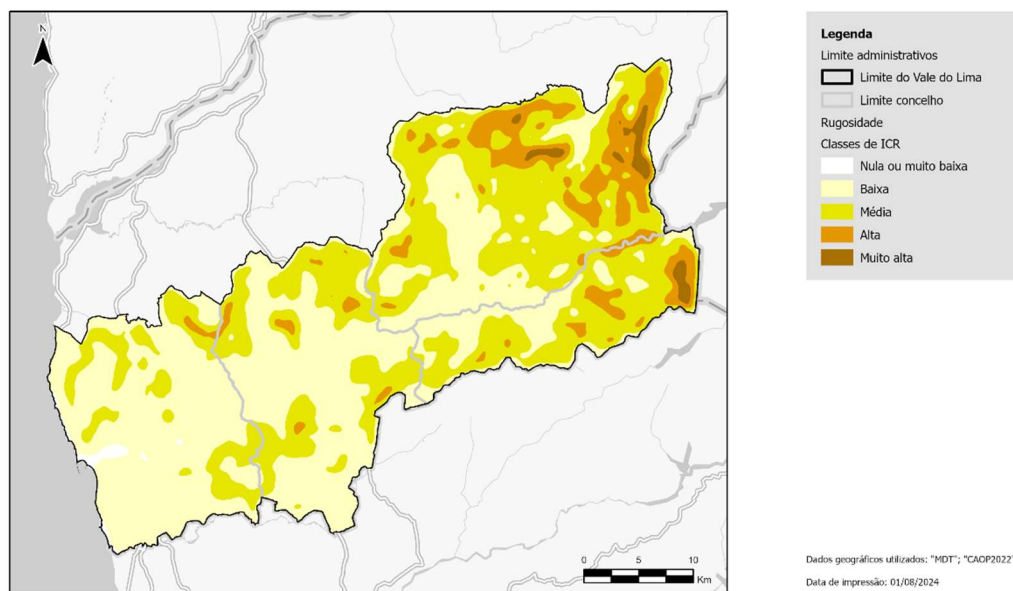


Figura 4.18- índice de Concentração de rugosidade

A hidrografia da sub-região do Lima é eficiente, com o rio Lima a atravessar a região e várias linhas de água dispersas, garantindo humidade em toda a área (Figura 4.19). Para uma melhor caracterização do local, foi elaborada uma cartografia referente à distância até às linhas de água, dividida em seis classes: 50, 100, 200, 400, 800 e 1600 metros. (Figura 4.19).

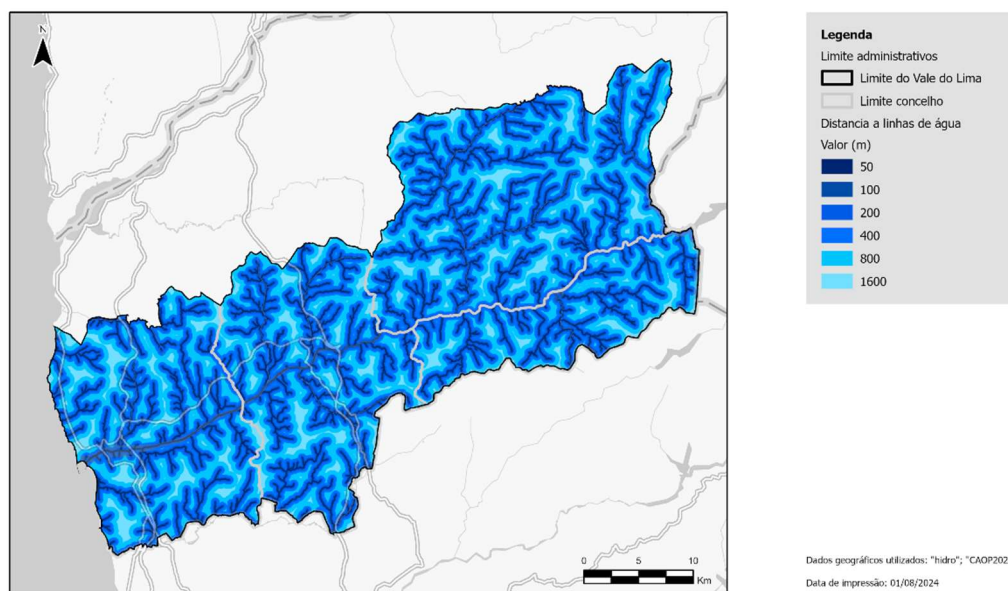


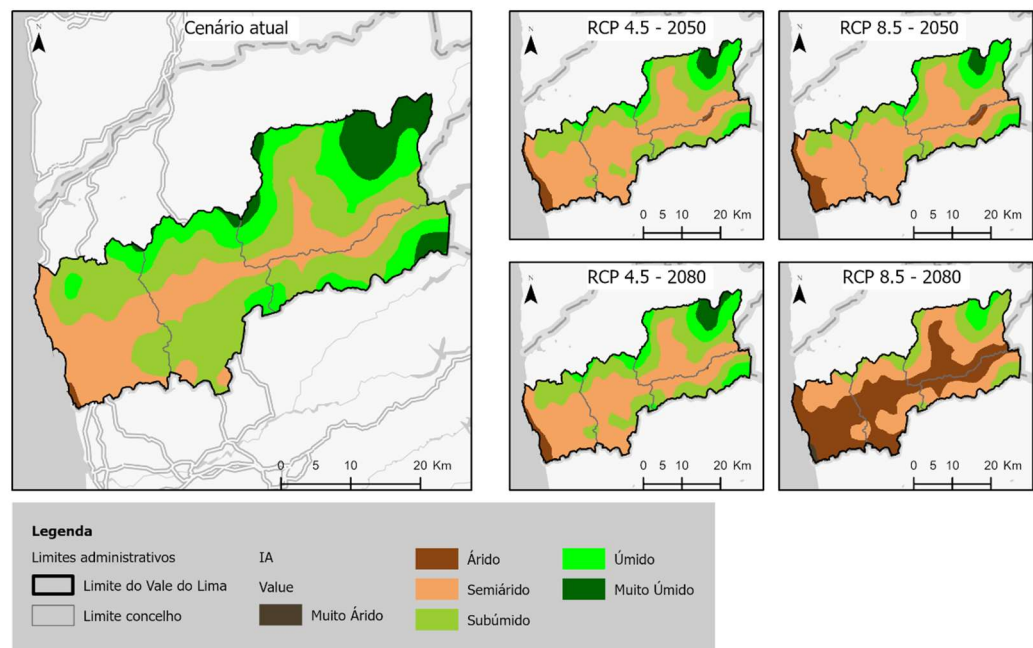
Figura 4.19- Distâncias hidrográficas

Os valores mais elevados de azoto (N) encontram-se no norte do concelho de Arcos de Valdevez, e nas proximidades do rio Lima. O fósforo (P), tem os valores mais elevados também na proximidade do rio Lima, dado a fácil mobilidade deste nutriente, enquanto os valores intermédios ocupam a restante sub-região. O concelho de Viana do Castelo é rico em potássio (K), apresentando os valores mais altos junto ao rio Lima, no resto da sub-região os níveis de potássio variam de baixos a médios.

O pH dos solos na região é ligeiramente ácido, com todos os valores abaixo de 7. Os valores de pH_CaCl são mais elevados junto ao rio Lima, atingindo aproximadamente 5,5, e no norte de Arcos de Valdevez. O pH_H2O apresenta-se de forma heterogénea em toda a sub-região, variando entre 5 e 6. A relação C/N (CN) é baixa nas áreas próximas a zonas artificiais, enquanto nos locais florestais se observa uma relação C/N mais elevada, com valores que podem atingir até 20. A capacidade de troca catiónica (CEC) é mais alta no norte de Arcos de Valdevez e heterogénea na restante subregião. Os fragmentos

grosseiros (Course_frag_eu23) estão mais presentes nas áreas florestais. A capacidade de água disponível (AWC_eu23) é elevada em toda a região, sendo o concelho de Viana do Castelo onde se registam os valores mais altos. De um modo geral, os solos da sub-região caracterizam-se por uma elevada quantidade de areia (sand_eu23) em toda a área. Os níveis de limo (silt_eu23) são moderados, enquanto as quantidades de argila (clay_eu23) variam de baixas a moderadas. A densidade do solo (bulk_density_eu23) é elevada em parte da área de estudo. Nos concelhos de Ponte de Lima e Viana do Castelo a textura é diversa, mantendo-se idêntica nos restantes concelhos. A quantidade de calcário (CaCO3) é reduzida em toda a sub-região, refletindo o pH ácido dos solos.

O Índice de Aridez (Ia) apresenta aumento de aridez ao longo dos cenários projetados, implicando uma diminuição da humidade. Isso indica que a região poderá enfrentar condições mais secas com as alterações climáticas (Figura 4.20).



Sistema de coordenadas: ETRS89 Tm06
Data de impressão: 20/08/2024 14:37

Figura 4.20- Cenários do Índice de aridez

O Índice de erosão potencial (IE) caracteriza a sub-região com alto risco nas zonas montanhosas e risco moderado nos locais de menor altitude. Nos cenários verifica-se o aumento dos locais de alto risco (Figura 4.21).

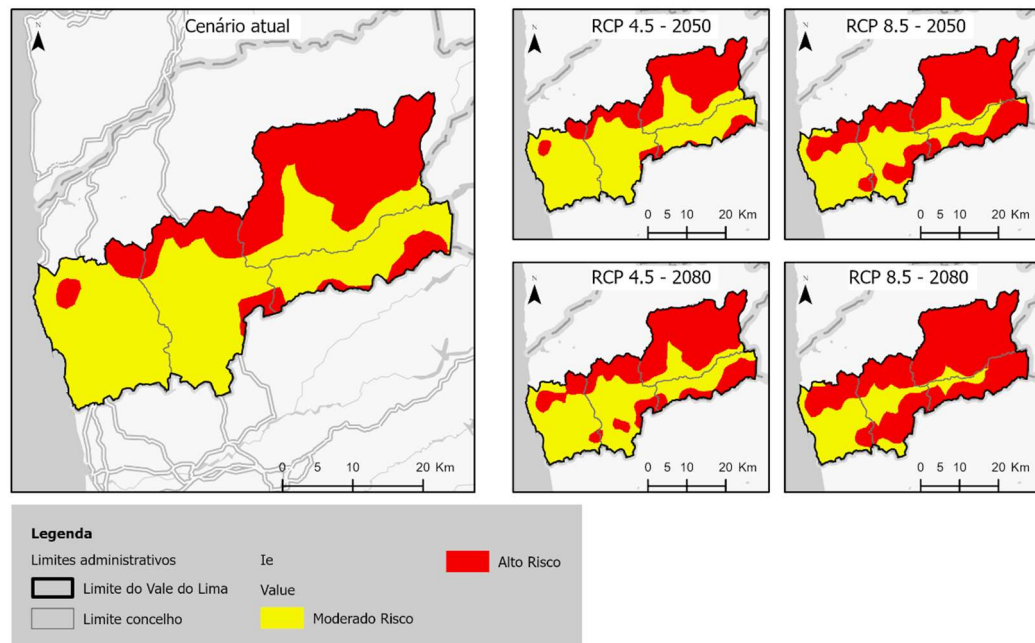


Figura 4.21- Cenários do Índice de erosão potencial

O Índice heliotérmico de Branas (Ihb) caracteriza a temperatura da região, valores baixos (entre 9 e 17) são considerados inadequados para algumas variedades de videira, valores moderados (entre 17 e 21) são adequados para parte das variedades e valores altos (entre 21 e 25) são adequados para variedades exigentes em calor no ciclo vegetativo da maturação. (Figura 4.22).

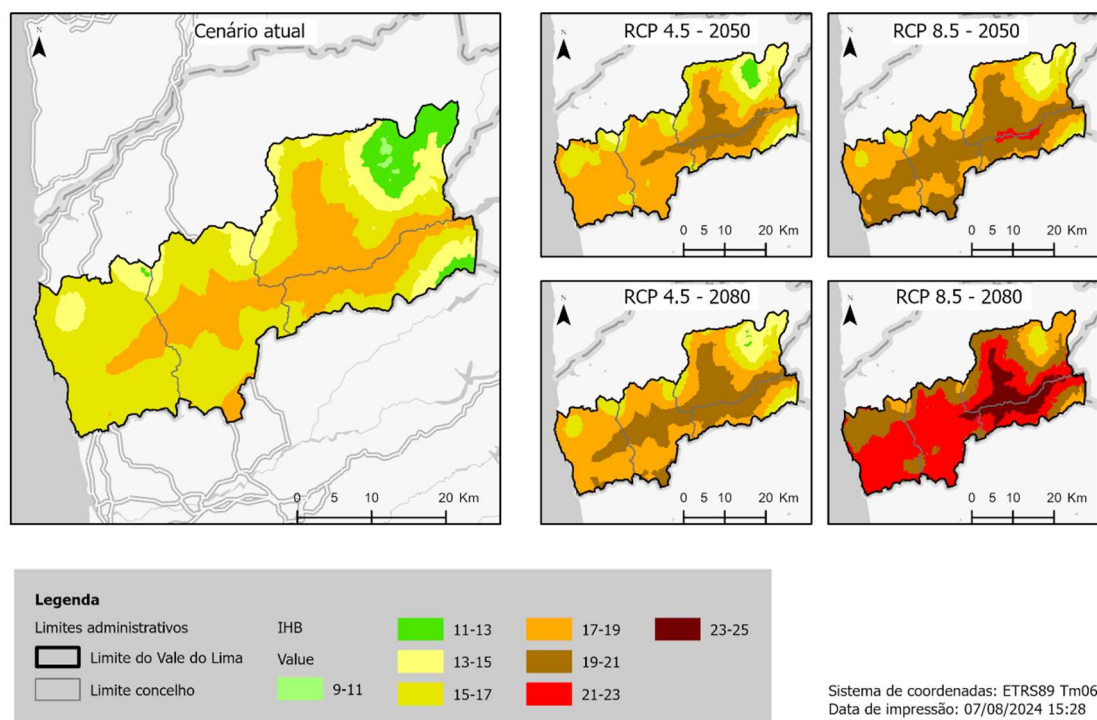


Figura 4.22- Cenários do Índice heliotérmico de Branas

O Índice heliotérmico de Huglin (IH) tal como o Índice heliotérmico de Branas influencia a maturação das uvas e na cenarização temporal tende a aumentar os valores (Figura 4.23).

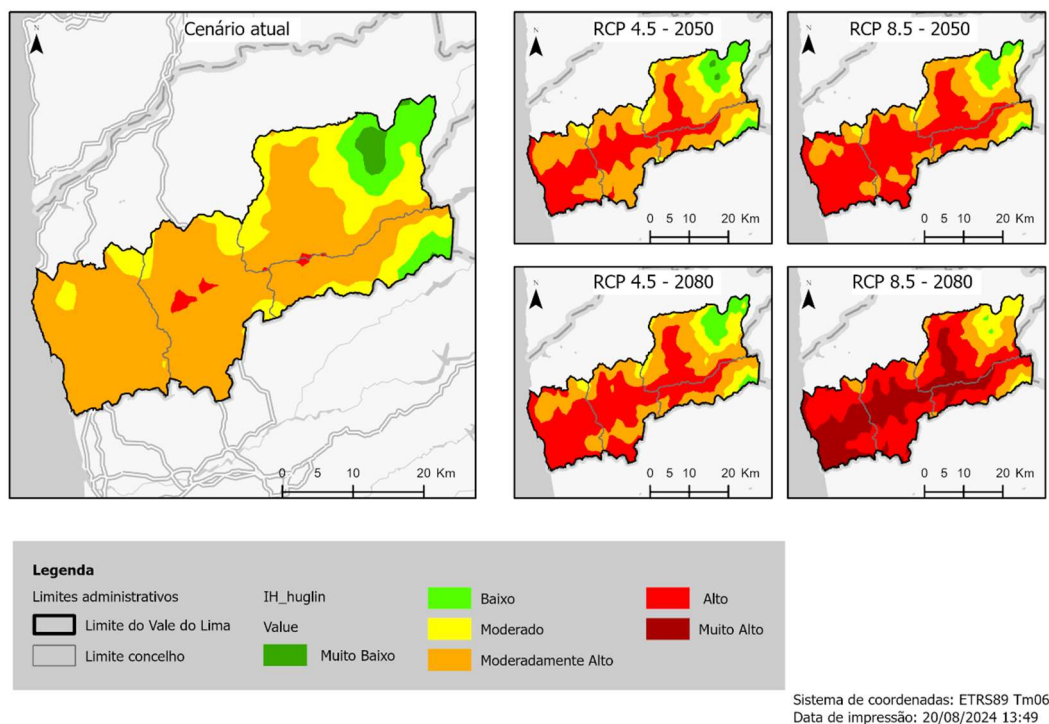


Figura 4.23- Cenários do Índice heliotérmico de Huglin

O Índice hidrotérmico de Selianinov (K) indica as condições de humidade por uma relação de precipitação e temperatura, na cenarização verifica-se que as zonas muito secas (valores de K inferiores a 0.5) aumentam a sua dimensão ao considerar os diferentes cenários (Figura 4.24).

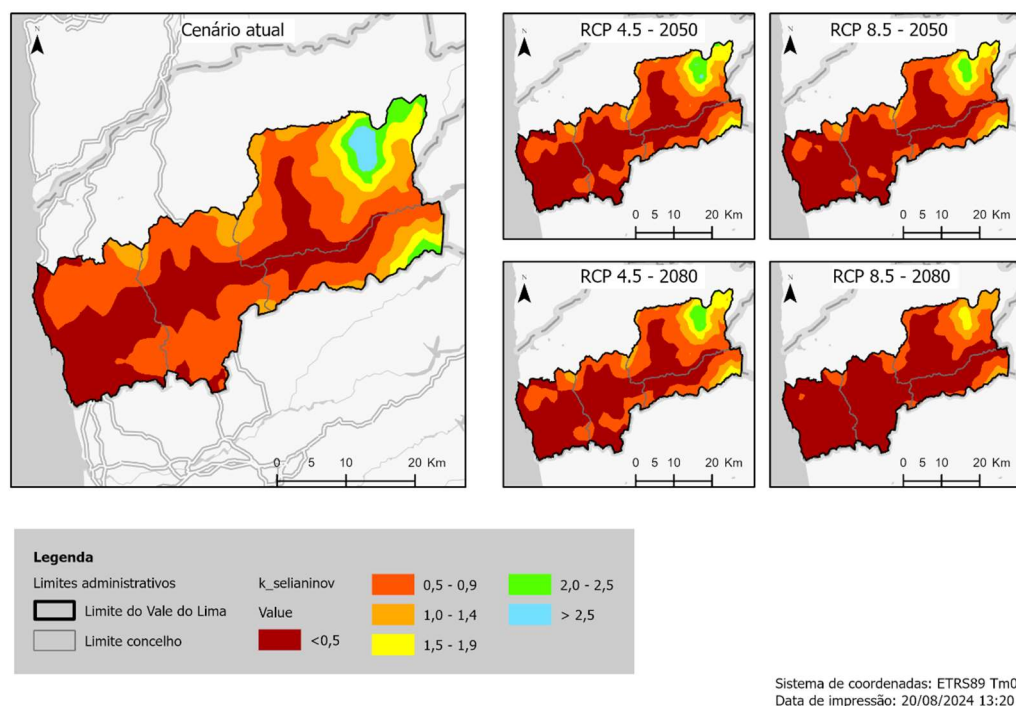


Figura 4.24- Cenários do Índice hidrotérmico de Selianinov

O índice hidrotérmico de Branas, Bernon e Levadoux (IHBBL) apresenta forte influência nas doenças provocadas por fungos nas videiras, principalmente por míldio e oídio. Ao longo dos cenários climáticos este índice diminui. Como tal nos cenários futuros as videiras da casta Loureiro terão menos ataques por esses fungos (Figura 4.25).

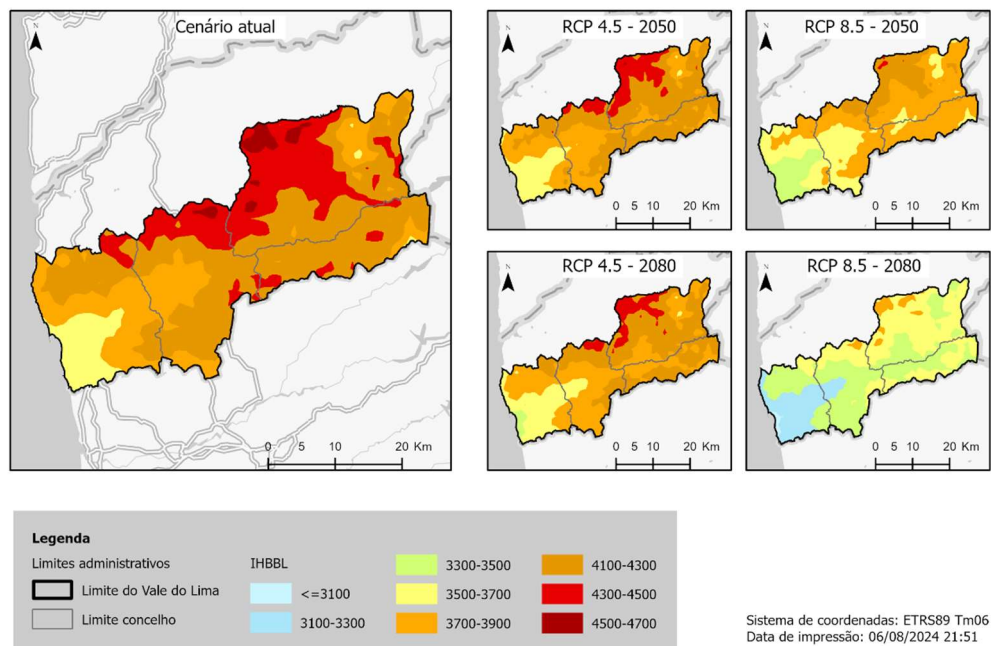


Figura 4.25- Cenários do Índice hidrotérmico de Branas, Bernon e Levadoux

O Índice de seca (IS) apresenta tendência a evoluir, diminuindo os locais de extrema seca e homogeneizando a sub-região. As zonas próximas do oceano são locais que apresentam menor défice hídrico (Figura 4.26).

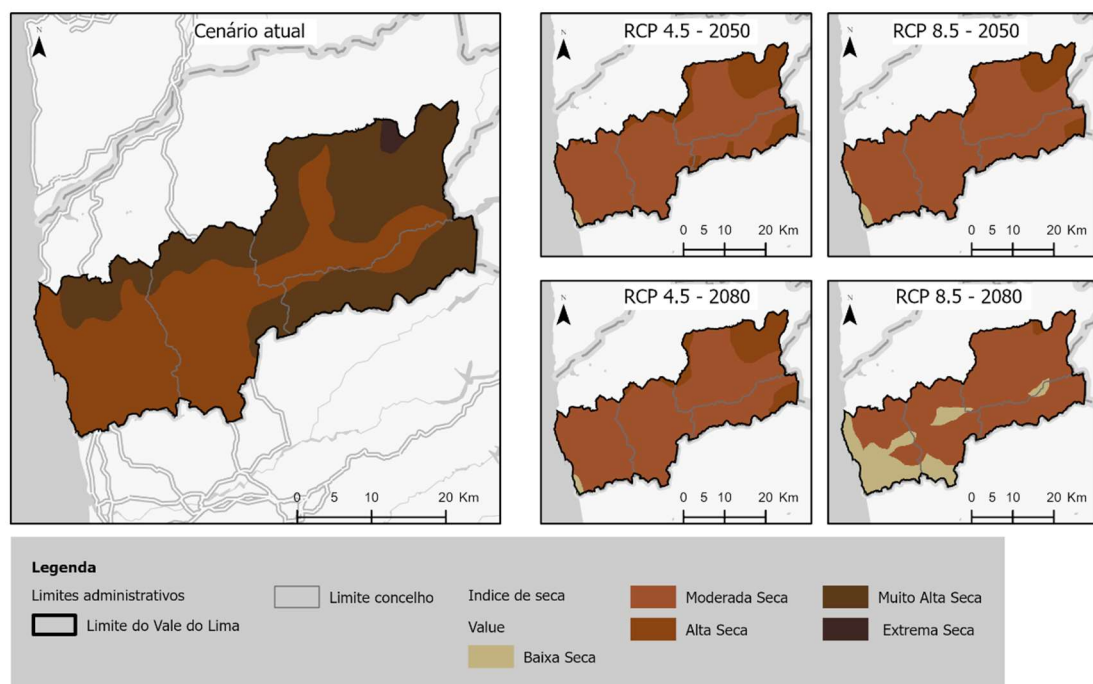


Figura 4.26- Cenários do Índice de seca

O índice de Winkler (IW) na sub-região varia de 1390 a 3677 quanto maior os graus-dia acumulados mais quente é a região, a sua evolução nos cenários aumenta. O Índice de Winkler ajuda os viticultores a escolher as variedades mais adequadas para as condições climáticas de uma região específica, com base na acumulação de calor necessário para amadurecer as uvas de forma ideal (Figura 4.27).

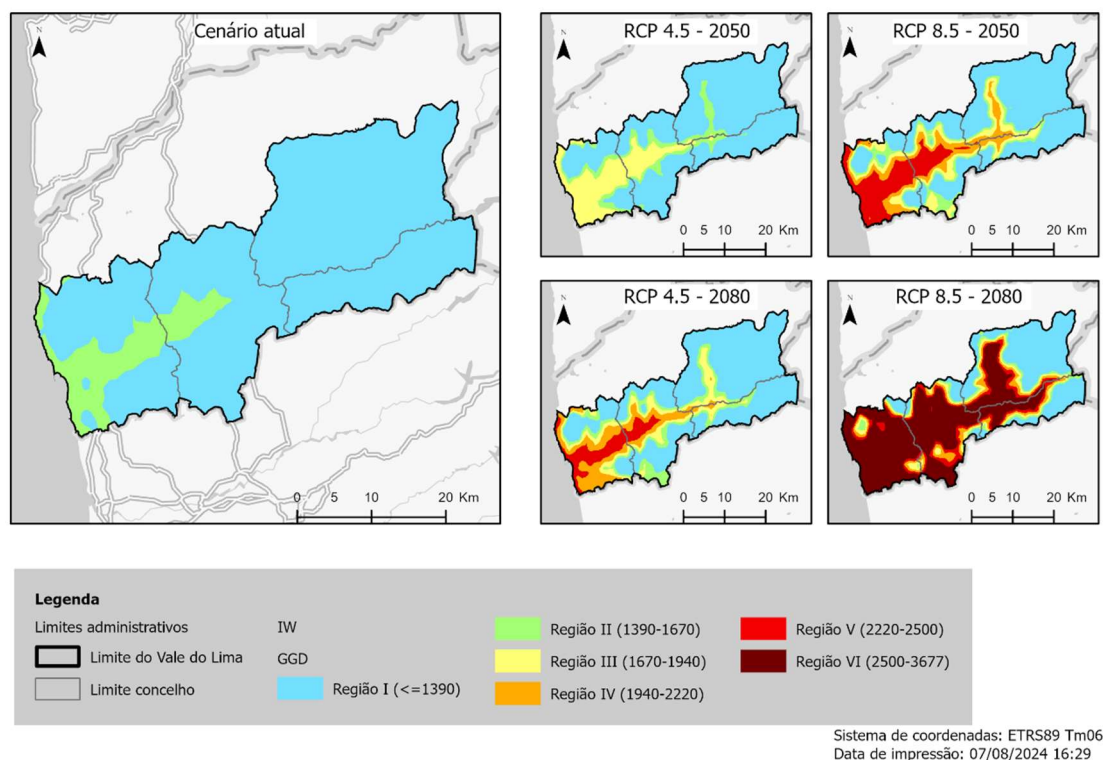


Figura 4.27- Cenários do índice de Winkler

O Índice Bioclimático de Hidalgo (Ibc), apresenta um aumento ao longo dos cenários. Para os valores muito baixos as uvas não apresentam uma maturação uniforme. Os valores de moderados a altos proporcionam boa adaptação em ampla variedade de castas. Os valores muito altos proporcionam boa maturação das castas que necessitam de calor para amadurecer bem (Figura 4.28).

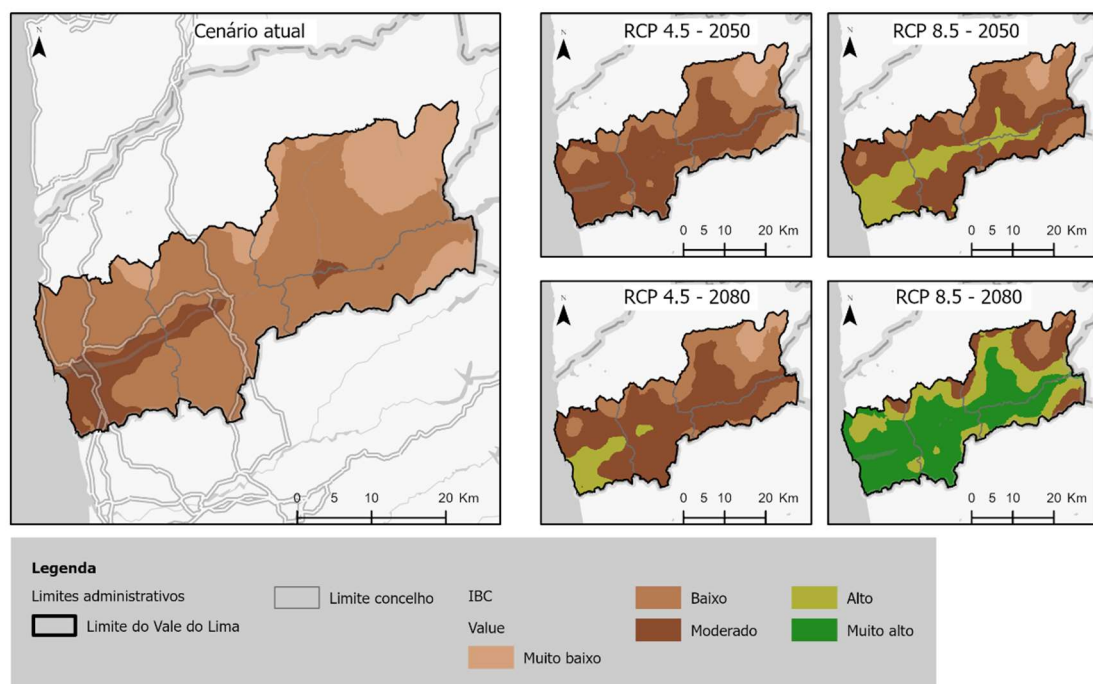


Figura 4.28- Cenários do Índice Bioclimático de Hidalgo

O Índice de frescura noturna (IF) demonstra um aumento das temperaturas nos cenários, o que indica que as noites serão menos frescas e mais quentes nas zonas artificializadas e agrícolas (Figura 4.29).

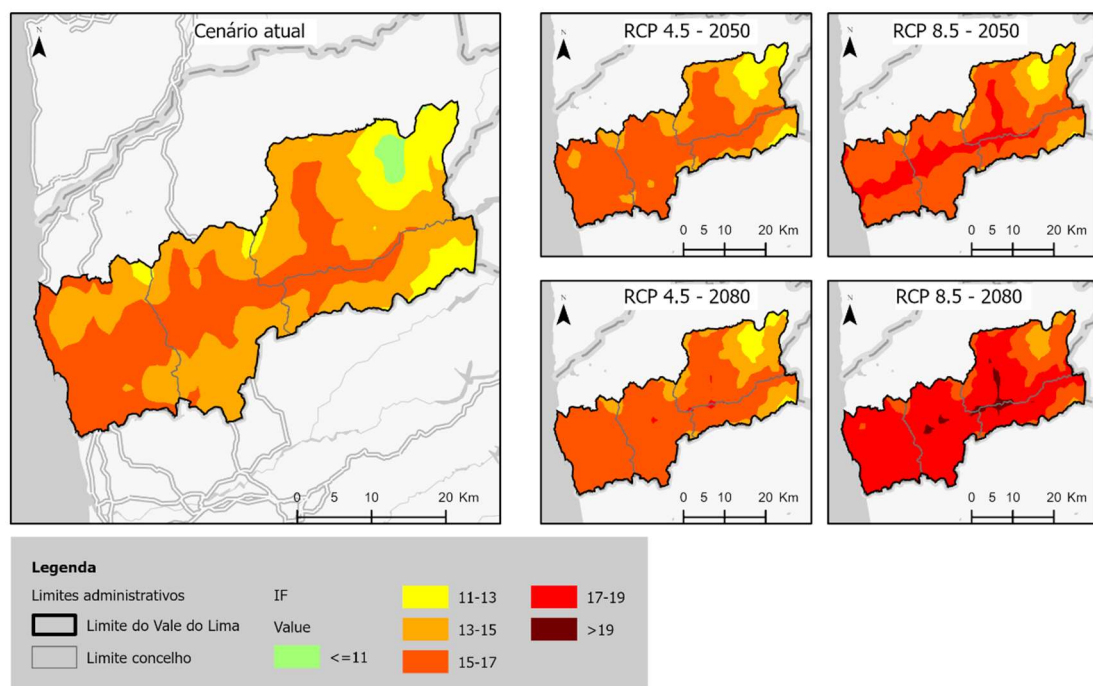


Figura 4.29- Cenários do Índice de frescura noturna

4.2. A cartografia de aptidão cultural (presente e futuro)

A classificação que resulta na distribuição das áreas realizou-se com o k-means, apresentando como entradas: áreas de vinha selecionadas por tamanho (1 e 2ha) e parâmetros (bandas da imagem satélite e índices de vegetação) (Figura 4.30).

Depois de agrupados os dados, obteve-se um gráfico sintetizado das castas e observados os pontos na área de estudo. A “Casta 1” associou-se a mistura de castas, “Casta 2” a castas tintas e “Casta 3” à casta branca “Loureiro” (Figura 4.31 e Figura 4.32).

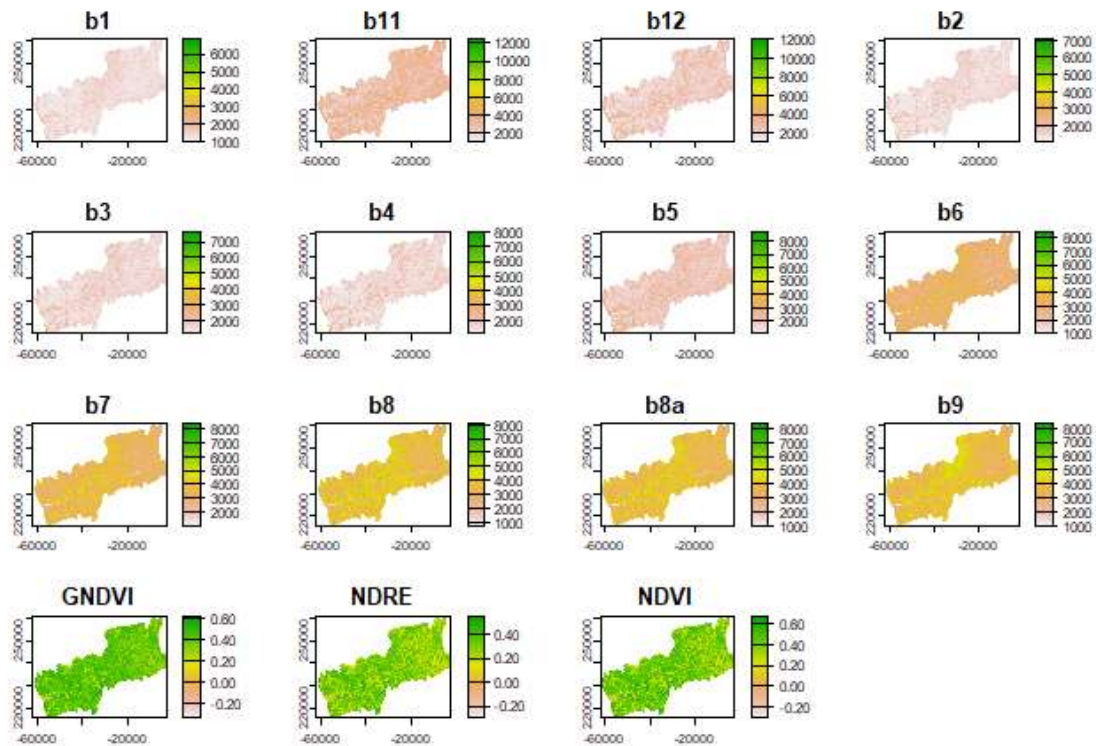


Figura 4.30- Parâmetros utilizados no agrupamento k-means

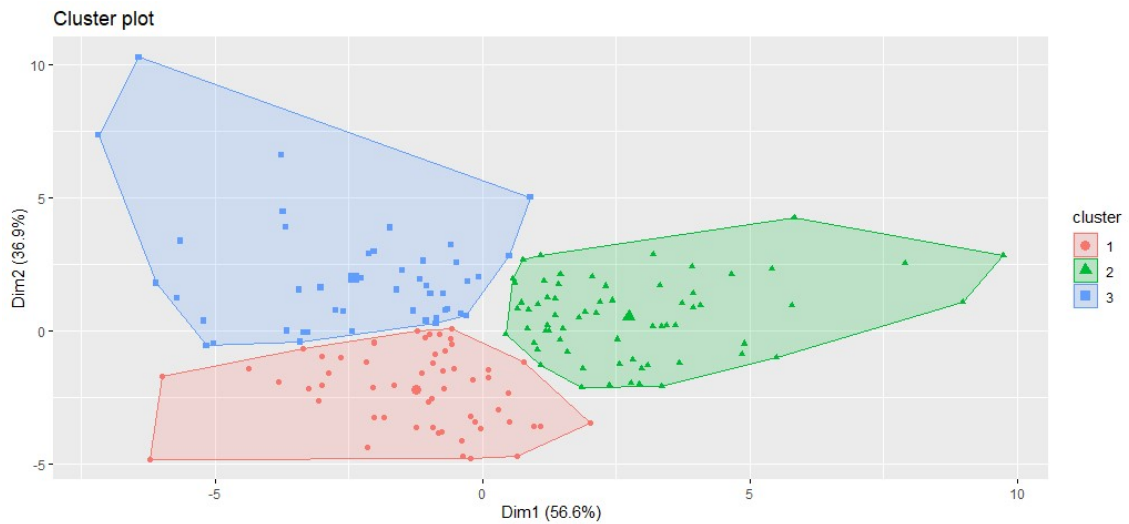


Figura 4.31- Gráfico dos dados e agrupamento com *k*-means

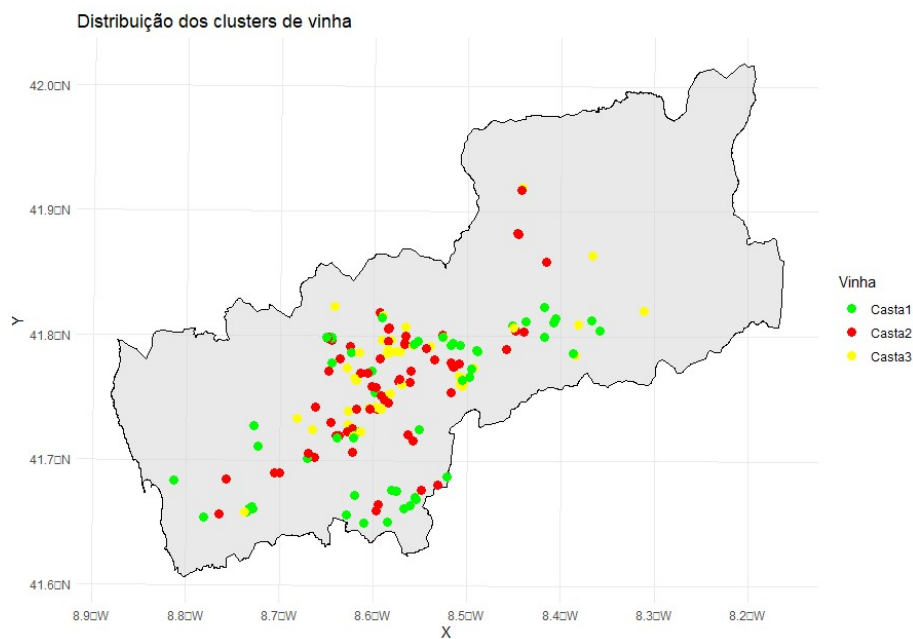


Figura 4.32- Observação dos agrupamentos por castas na área de estudo

A seleção de indicadores mais adequados para a classificação realizou-se através de análises de colinearidade e de correlação. Ajustou-se a seleção dos indicadores finais para que apresentassem o VIF (Fator de Inflação da Variância) inferior a 10 (Cruz et al., 2019). Na matriz de correlação compreende-se que valores de correlação entre 0.8 e -0.8 é um

limite aceitável (Kutner et al., 2005). Todos os indicadores situam-se nesse intervalo (Figura 4.33 e 4.34).

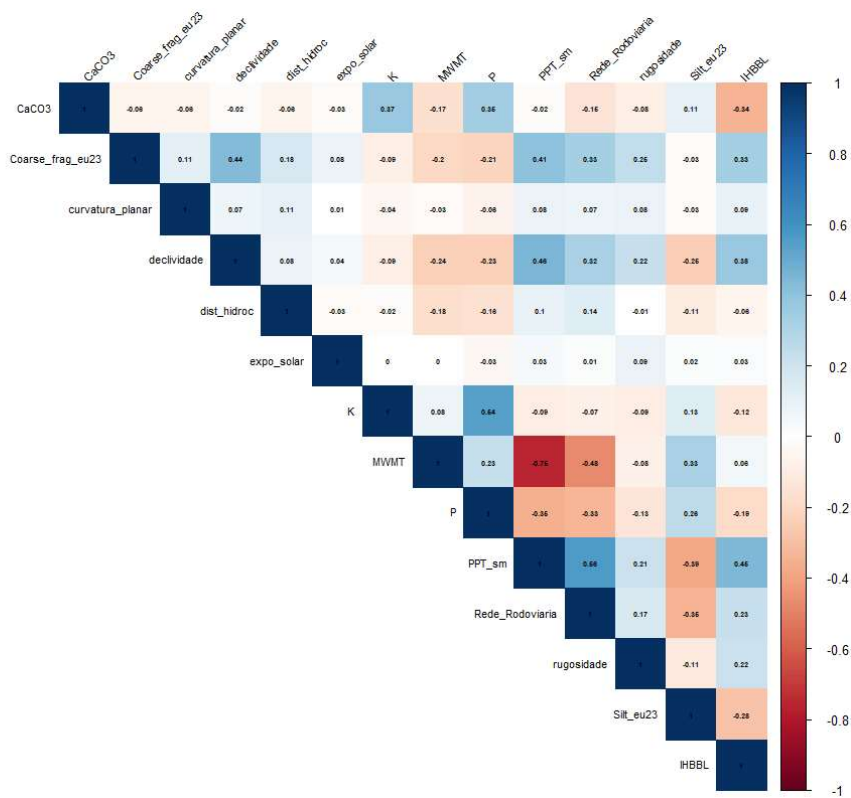


Figura 4.33- Matriz de correlação

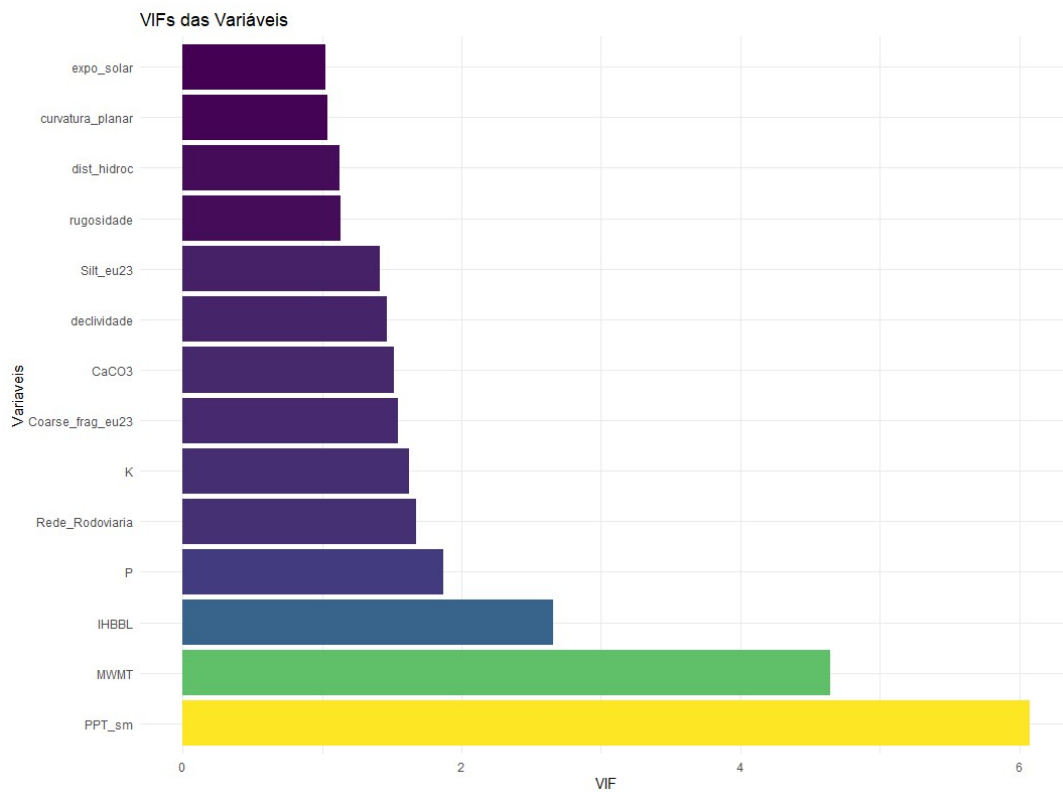


Figura 4.34- VIF das variáveis finais

Na modelação em “biomod” utilizou-se como entrada as áreas de treino das castas tintas e das castas brancas (Loureiro) e os indicadores seleccionados (Ca CO₃, Coarse_frag_eu23, curvatura_planar, declividade, dist_hidroc, expo_solar, K, MWMT, P, PPT_sm, Rede_rodoviária, rugosidade, Silt_eu23, IHBBL) (Figura 4.32 e Figura 4.35) com base na análise de colineariedade.

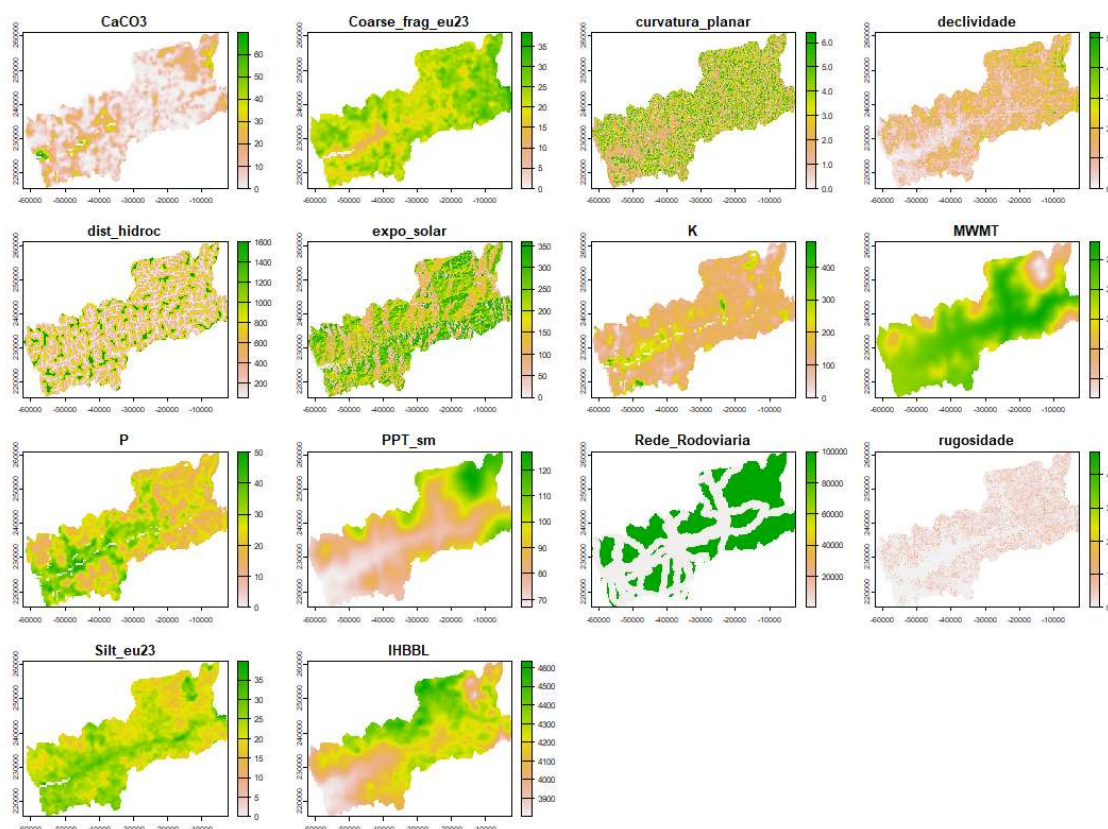


Figura 4.35- Indicadores selecionados para o modelo

A importância média para os 10 algoritmos na modelação das castas tintas, conforme calculado pelo pacote biomod2 variam entre 0 e 1, indicando a relevância relativa de cada algoritmo. O algoritmo Generalized Linear Models (GLM) (0.123) obteve a maior importância média. Depois o Generalized Additive Models (GAM) (0.118), o Maximum Entropy (MAXENT) (0.110), o Extreme Gradient Boosting (XGBoost) (0.108), o MAXNET (0.104) e o Classification Tree Analysis (CTA) (0.101) apresentaram uma pontuação boa acima de 0.1. Os algoritmos que apresentaram pontuação intermédia foram o Flexible Discriminant Analysis (FDA) (0.0962), o Multivariate Adaptive Regression Splines (MARS) (0.0759). O Generalized Boosting Models (GBM) (0.482), e o Random Forest (RF) (0.026) apresentaram uma pontuação baixa. Essas diferenças refletem a contribuição de cada algoritmo na análise realizada com os dados do modelo (Figura 4.36).

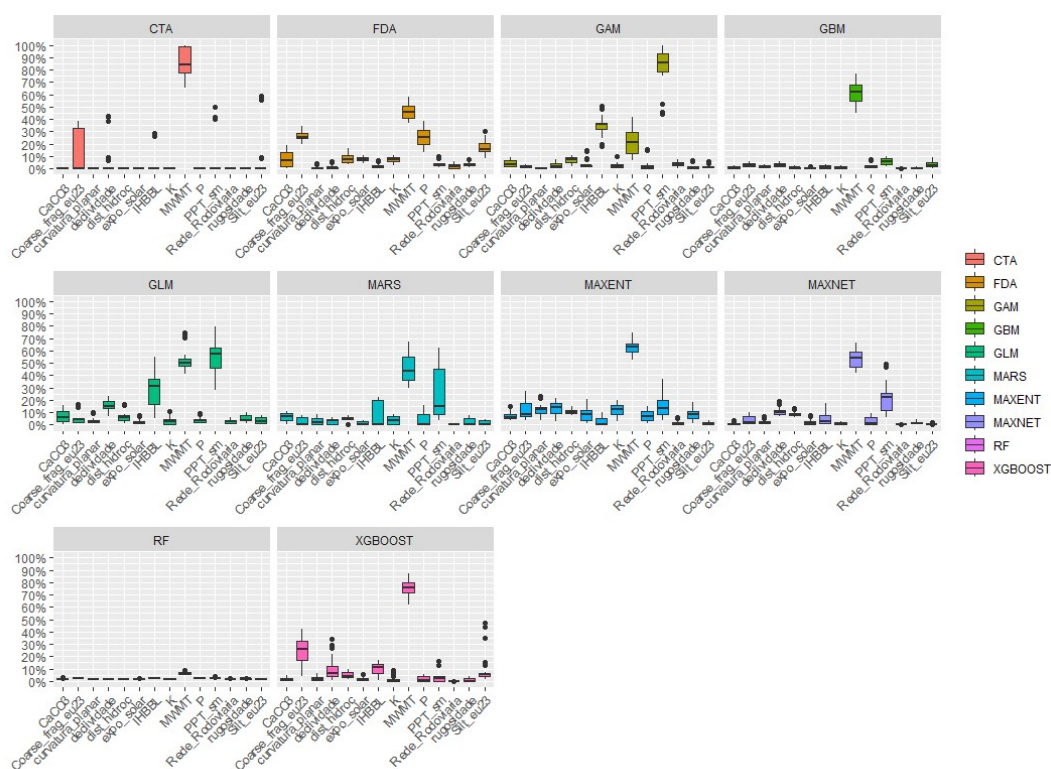


Figura 4.37- Resposta dos classificadores na Casta 3

Na importância das variáveis na modelação das castas tintas, conforme calculado pelo pacote biomod2. Os indicadores que apresentaram melhor pontuação de importância foi a precipitação média do Verão (PPT_sm) (0.377) e a Temperatura média do mês mais quente (MWMT) (0.302). Depois os de pontuação intermédia foram os fragmentos grosseiros do solo (Course_frag_eu23) (0.141), o Índice hidrotérmico de Branas, Bernon e Levadoux (IHBBL) (0.104), o fosforo (P) (0.0977) e os declives (declividade) (0.0558). Os restantes tiveram a pontuação baixa, menor que 0.05 e esses foram o potássio (K) (0.0462), distância às linhas de água (dist_hidroc) (0.0355), teor de limo (silt_eu23) (0.0319), a Índice de curvatura (curvatura_planar) (0.0277), distancia á rede rodoviária (Rede_Rodoviaria) (0.0213), exposições solares (expo_solar) (0.0149), Carbonatos de cálcio (CaCO3) (0.0116) e a Índice de concentração de Rugosidade (rugosidade) (0.00981).

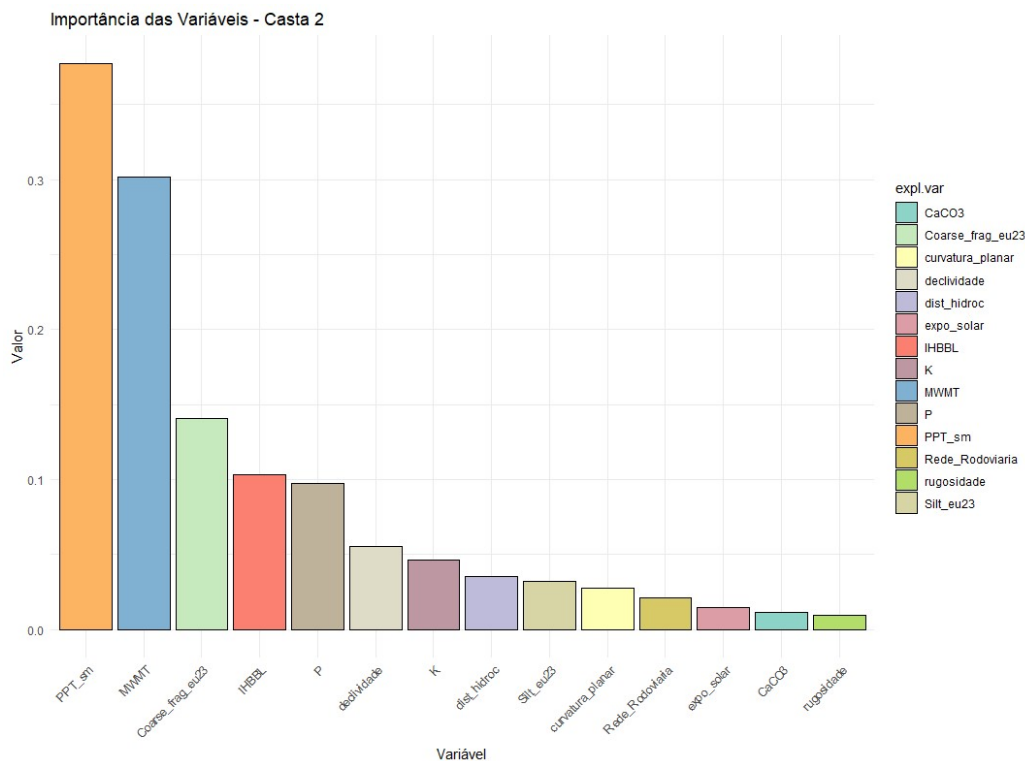


Figura 4.38- Importância de variáveis no modelo para a casta 2

Na importância de variáveis na modelação da castas brancas os indicadores que apresentaram melhor pontuação de importância foi a Temperatura média do mês mais quente (MWMT) (0.512) e Precipitação média do Verão (PPT_sm) (0.222). Depois os de pontuação intermédia foram o Índice hidrotérmico de Branas, Bernon e Levadoux (IHBBL) (0.0975), os fragmentos grosseiros do solo (Course_frag_eu23) (0.0899), os declives (declividade) (0.0645), o fosforo (P) (0.0534) e a distância às linhas de água (dist_hidroc) (0.0528). Os restantes obtiveram uma pontuação baixa, menor que 0.05, sendo o teor de limo (silt_eu23) (0.0447), Carbonatos de cálcio (CaCO3) (0.0375), o potássio (K) (0.0334), as exposições solares (expo_solar) (0.0292), o Índice de concentração de Rugosidade (rugosidade) (0.0270), o Índice de curvatura (curvatura_planar) (0.0269) e a distância á rede rodoviária (Rede_Rodoviaria) (0.0115) (Figura 4.39).

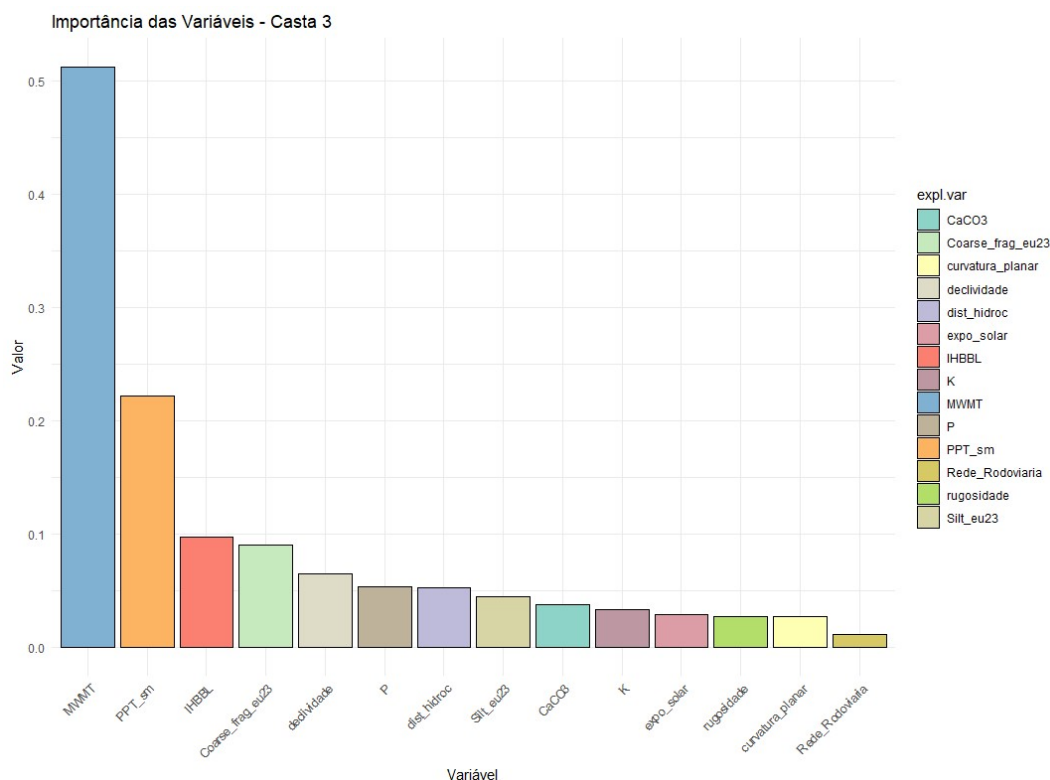
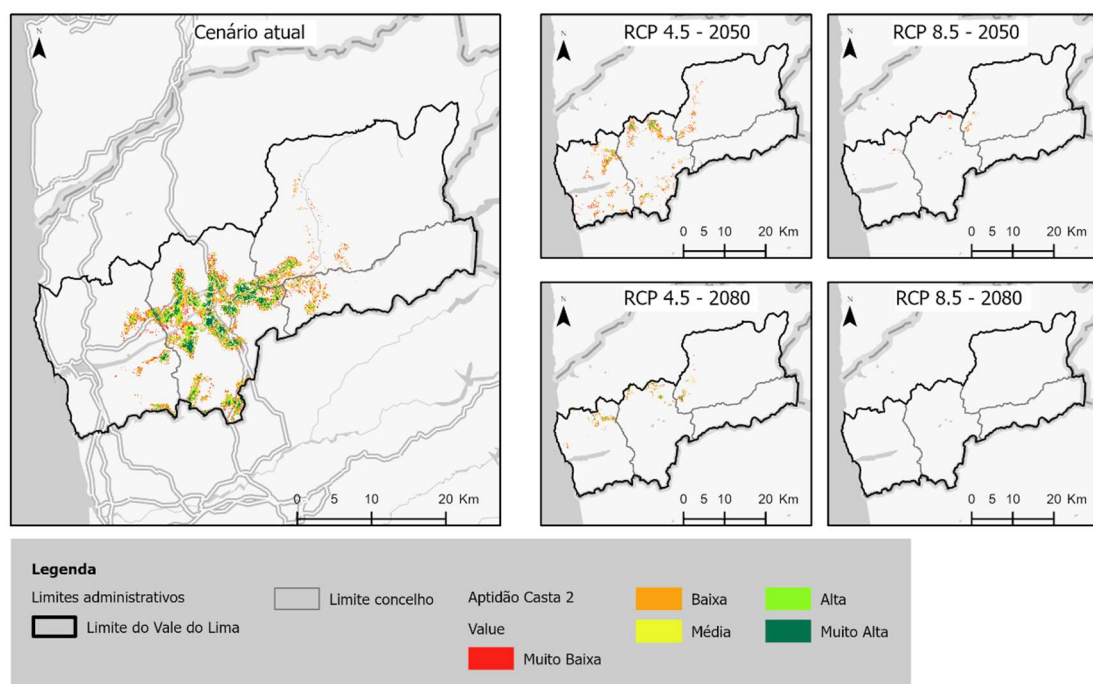


Figura 4.39- Importância de variáveis no modelo para a casta 3

Na cartografia de aptidão e cenarização climática da casta 2 verifica-se a diminuição das potenciais condições similares às atuais nos cenários. No RCP 4.5 os locais que apresenta propriedades idênticas às áreas atuais passam a localizar-se a norte em locais florestais. No cenário RCP 8.5 estimam-se apenas locais de baixa aptidão para 2050 e desaparece áreas aptas em 2080 de acordo com a similaridade às condições atuais. Esta casta associa-se as castas tintas pela sua pouca presença no concelho dos Arcos de Valdevez e Ponte da Barca (Figura 4.40).



Sistema de coordenadas: ETRS89 Tm06
Data de impressão: 22/10/2024 22:28

Figura 4.40- Aptidão cultural da casta 2

A aptidão cultural da Casta 3 (casta Loureiro) é abundante atualmente nos três principais concelhos, Ponte de Lima, Arcos de Valdevez e Ponte da Barca. Nos diferentes cenários a aptidão tende a aumentar nos concelhos de Arcos de Valdevez e Ponte da Barca, e na proximidade das linhas de água (Figura 4.41).

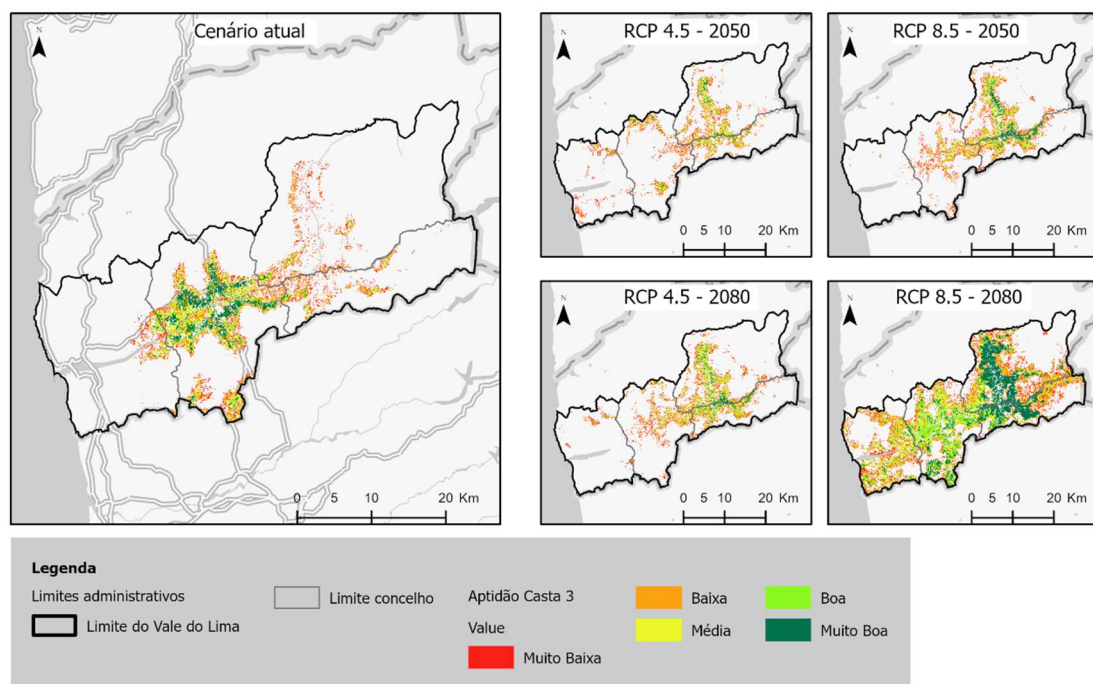


Figura 4.41- Aptidão cultural da casta 3

4.3. A validação dos resultados

Nos resultados apresentados anteriormente a importância das variáveis aos modelos, reflete a distribuição e similaridade às condições atuais dos locais com as culturas instaladas atualmente. Os resultados mostram que no modelo produzido da “Casta 2” o parâmetro mais importante é a precipitação no período de Verão para precipitações entre 70 e 85 mm. No modelo produzido da “Casta 3” o parâmetro mais importante é temperatura média do mês mais quente, entre aproximadamente 20 a 25 °C.

Garrido (2022) refere que as castas Vinhão e Alvarinho são as mais suscetíveis à doença Esca (doença de lenho), sendo que os sintomas se manifestam sobretudo a temperaturas mais elevadas. Um dos efeitos da Esca nas videiras é a ausência de fluxo de seiva necessário para transportar o alimento às folhas. De acordo com Santos (2011) a precipitação reduz a sensibilidade térmica do solo provocando uma queda na temperatura do mesmo. A temperatura do solo atua no crescimento e na atividade das raízes, que, por sua vez, influencia o desenvolvimento das plantas (Bergamaschi, 2007).

Os cachos de uva branca Loureiro apresentam características de serem mais compactos, pouco arejados e com muitos frutos, comparativamente às castas tintas mais produzidas na sub-região, por exemplo o Vinhão. Esta geometria traduz-se numa maior sensibilidade da casta Loureiro ao míldio, ao oídio, à podridão dos cachos e aos ácaros. O ataque das videiras por fungos é mais agravado em condições de humidade elevada (Genisheva, 2007).

A precipitação no verão é prejudicial na casta Loureiro pelo ataque de fungos, que inviabilizam a produção de uva de qualidade. No caso das castas tintas esta precipitação favorece a cultura no fluxo de seiva.

O índice bioclimático (IHBBL) na “Casta 3” comparativamente à “Casta 2” apresentou maior importância, este associa-se ao risco de ataques de fungos como oídio e podridão cinzenta. Isso demonstra que a “Casta 2” está inserida atualmente em locais com um maior intervalo deste índice, pois é menos vulnerável às condições de humidade e aos fungos.

Na “Casta 2” apresenta uma forte importância do indicador “Fragmentos grosseiros” que se associa a uma característica que atua na absorção de nutrientes pela videira. A forte importância da temperatura média do mês mais quente na “Casta 3” deve-se a estar inserida em locais com boa exposição solar e altas temperaturas que favorecem a cultura no bom amadurecimento e redução de humidade na parte aérea da planta. Também se acrescenta que a “Casta 3” apresenta mais importância à hidrografia, comparativamente à “Casta 2”.

Para complementar os resultados obtidos, foi produzida uma classificação com as duas variedades em simultâneo, para verificar o que ocorria, e verificou-se que esta cartografia acrescenta aos resultados anteriores que existe locais que são aptos para as duas castas em simultâneo, mas ao longo dos cenários tende a desaparecer, pois nas castas tintas as alterações climáticas são limitantes (Figura 4.42).

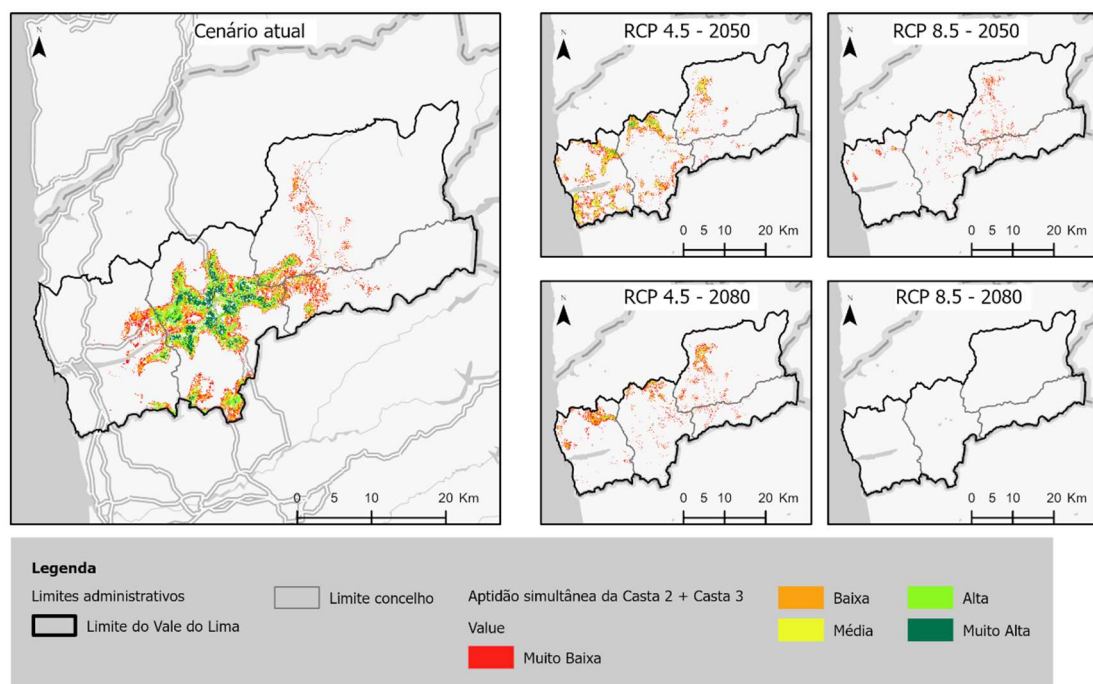
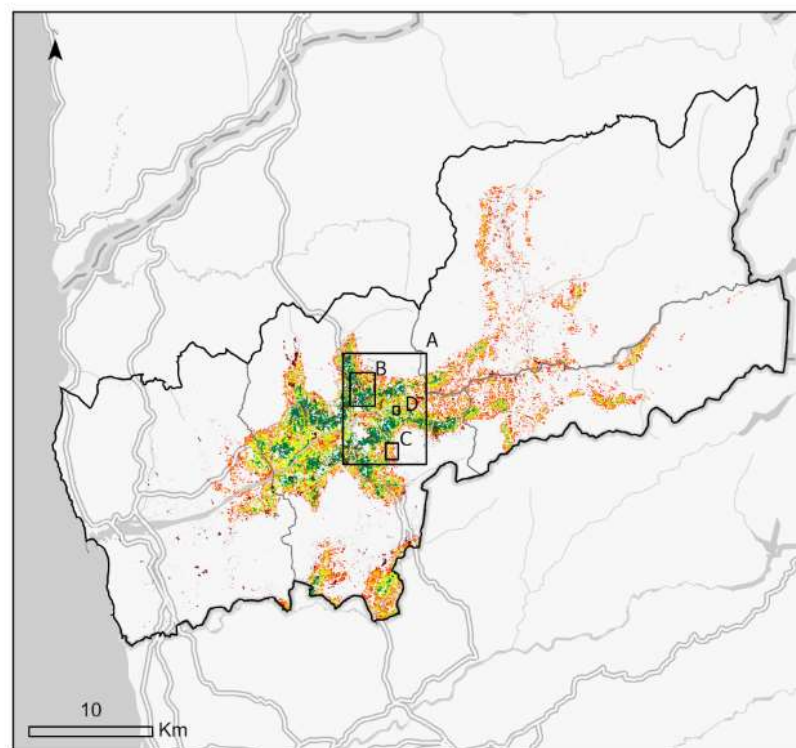


Figura 4.42- Aptidão cultural das duas castas em simultâneo

Na verificação final foi produzida uma cartografia com ampliação de alguns locais da casta 3 e com a sobreposição das áreas de vinha do ISIP, foi notável a concordância em diversos locais (Figura 4.43).



Legenda

Limites administrativos
 Limite do Vale do Lima
 Limite concelho

Presenças
 Vinha 2023 (IFAP)

Aptidão
 Casta 3
 Muito Baixa

Baixa
 Média
 Boa

Muito Boa

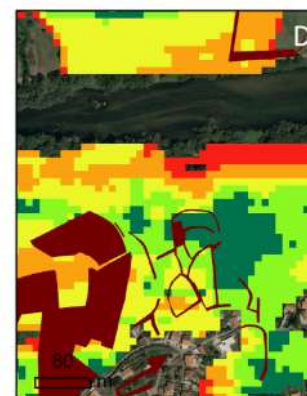
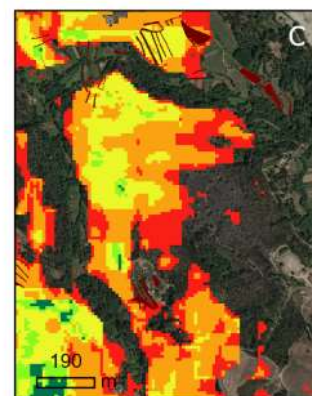
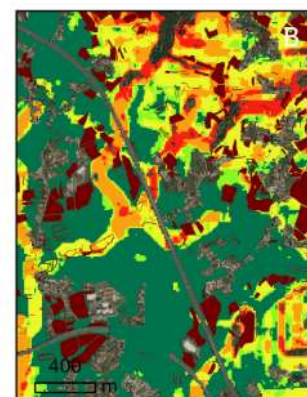
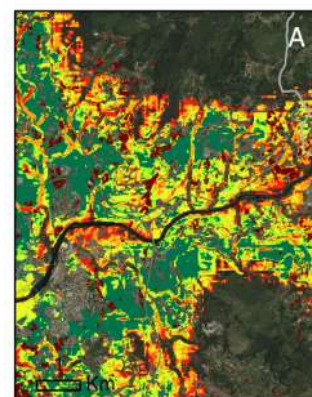


Figura 4.43- Ampliações de locais da classificação da casta 3

4.4. As implicações no planeamento, investimento e operação

Para a casta em estudo no futuro, segundo a cartografia obtida, verifica-se que as condições serão favoráveis nos concelhos de Ponte de Lima, Arcos de Valdevez e Ponte da Barca. Mas alguns fatores devem ser considerados, nomeadamente as necessidades de rega que serão maiores devido a valores superiores de evapotranspiração devido a temperaturas mais elevadas.

Os resultados mostram uma elevada incerteza na distribuição e aptidão das diversas castas tintas e brancas, em particular na casta Loureiro. Esta diferenças colocam em causa, para além da produtividade e dos custos de produção, a competitividade, necessidades de investimento, mas acima de tudo desafios à tipicidade do vinho verde e do vinho da casta Loureiro em particular.

Assim:

- i. os investimentos devem atender a processos de política pública, que garantam o licenciamento e apoio a investimentos em áreas de elevada produção considerando a natureza dinâmica das mesmas;
- ii. a importância de investigar técnicas de instalação e condução, associadas a outras tecnologias de produção que garantam a adaptação das plantas;
- iii. aprofundar o conhecimento da genética da casta e multiplicar plantas e clones de Loureiro que garantam e apliquem a plasticidade de adaptação desta casta, bem como do reforço da sanidade das plantas mãe;
- iv. reforçar os serviços de acompanhamento e aconselhamento técnico e de fiscalização, dos sistemas de apoio à decisão, que considerem a monitorização dos sistemas de produção associados ao desenvolvimento da digitalização e da agricultura de precisão nas áreas e atividades produtivas.

As linhas de água no futuro podem ser influenciadas também negativamente, caso aumente a captação de água para os diversos usos, ou se os seus percursos forem alterados por intervenções humanas. Devem ser desenvolvido um plano de gestão dos recursos hídricos, que analise os investimentos necessários para aumentar o uso eficiente da água,

através de sistemas mais avançados de rega, tais como a rega de precisão, a reutilização de água ou o reaproveitamento da água de chuva.

O aumento da área de vinha para locais florestais deve realizar-se gerindo os impactos ambientais nos ecossistemas envolvidos. Os investimentos, os sistemas e as tecnologias dos sistemas de produção devem equacionar-se num quadro de estratégia e operação sustentável das condições, de eficiência da utilização de recursos, bem como da perenidade da mesma.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os territórios vitivinícolas carecem de instrumentos de ação, de decisão e de capacitação dos agentes que contribuam para melhoria da economia e da governança territorial, valorizando as paisagens culturais e os produtos vitícolas. A racionalização de políticas, planos e investimentos estratégicos, de práticas de produção e de transformação traduzir-se-ão na melhoria da viabilidade das unidades e atividades bem como, na qualidade ambiental e de vida da população local.

Nesta investigação recolheram-se e processaram-se bases de dados bioclimáticas, de solos, topografia e de vegetação para avaliar a distribuição e aptidão das castas tintas e brancas, me particular as castas Loureiro para o Vale do Lima. A modelação e a cenarização climática permitiram compreender a distribuição e a evolução dos parâmetros bioclimáticos relativamente às necessidades das videiras para o Vale do Lima. Neste quadro destaca-se a aptidão para a vinha dos vales do terço médio e interior do Vale do Lima em particular nas áreas de início e prolongamento das encostas dos vales secundários. Os resultados mostram uma mudança potencial das condições atuais para o futuro seja nas condições ou aptidão ótima das áreas de vinha de castas tintas ou brancas associados ao Loureiro.

No entanto com base nos dados utilizados foi possível definir duas castas na sub-região do Lima e estudar o comportamento destas. Não foram encontrados muitos dados relativamente à aptidão ótima da casta Loureiro e a separação baseou-se na sua sensibilidade e a vulnerabilidade a doenças.

A ausência de dados geográficos, da presença da casta Loureiro por dificuldade de acesso ao cadastro vitivinícola implicou a produção de parcelas potenciais de castas brancas e tintas com recursos a algoritmos de classificação em imagens de satélite. Estes dados foram usados na análise de distribuição atual e potencial da espécie com recurso ao modelo biodmod2.

O acesso a todas os pontos ou polígonos que representem as melhores vinhas de Loureiro com a melhor qualidade e quantidade de frutos poderia garantir a resultados de maior detalhe espacial e certeza dos modelos.

Com o modelo aptidão produzido infere-se as alterações climáticas impactam a distribuição, exigências e resultados produtivos de todas as castas, incluindo a casta Loureiro. Entre as implicações na tipicidade e sanidade sublinha-se o aumento das necessidades hídricas para as plantas no final do ciclo, e a quantidade de água que ficará disponível no solo para as videiras. Estes aspetos remetem para a necessidade de estratégias e práticas coerentes de políticas e intervenção publicas de reforço da capacidade dos agentes privados e mudanças nos sistemas de produção e na genética e multiplicação das plantas.

No futuro em zonas florestais atuais de início e meia encosta pode vir a ser interessante a produção da casta Loureiro, devido à aptidão e ao custo de investimento e aquisição destes terrenos, no entanto estas opções e práticas terão influência na paisagem regional e local.

Como trabalhos futuros face à realidade que se enfrenta das alterações climáticas e os seus impactos na agricultura:

- i. podem ser realizados estudos á hidrografia, se as linhas de água atuais sofrem alterações no futuro em fluxo ou em direção, para que se possa atuar com sistemas de gestão de água;
- ii. o cadastro das castas de vinha presentes, devia de ser realizado e disponibilizado para estudos de distribuição e adaptação das casta à realidade bioclimática, pedológica e fisiográfica considerando os imperativos de qualidade, tipicidade e competitividade do vinho verde local.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abreu, F. S. (2020). *Efeito do terroir no perfil do vinho da casta Alvarinho*. UCP: PhD Thesis.
- Agrocontrol. (2017). *Estudo da EVAG*. Obtido de https://www.agrocontrol.org/wp-content/uploads/2017/06/Anexo-III_ESTUDO-DA-EVAG-1.pdf
- Albuquerque, B. C. (2022). *Projeto de instalação de uma vinha*. Instituto Superior de Agronomia, Universidade de Lisboa.
- Albuquerque, T. C. (2002). *Nutrição na cultura da videira*. Embrapa Semi-Arido.
- Albuquerque, T. C., & Choudhury, E. (1993). *Influencia da remocao das gemas basais e do substrato na formacao de mudas do porta-enxerto de videira cv. tropical*. Rev.Bras.Frutic.,Cruz das Almas,v.15,n.1,p.193-197,199.
- Alexandre, C. (2012). *Funções, usos e degradação do solo*. Universidade de Évora: Sociedade Portuguesa da Ciência do Solo.
- Allebrandt, R. (2012). *Caraterização da maturação e composição das uvas 'Cabernet Sauvignon e Merlot' produzidas em São Joaquim. Trabalho de conclusão do curso (Engenharia Agrônoma)*. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina.
- Almeida, M. J. (2021). *Loureiro: uma casta versátil, acima de tudo*. Jornal Público.
- Altaweel, M. (2017). Medição da vegetação a partir de imagens de satélite com NDVI. *geographyrealm*.
- Alves, M. L., & Freitas, A. R. (s.d.). *Portugal e o Mundo*. Obtido de <https://storymaps.arcgis.com/stories/5999f4c2a53647f985bad5ebf8dc01f2>
- Amerine, M. A., & Winkler, A. J. (1944). *Composition and quality of musts and wines of California grapes*. CABI Digital Library.
- Anand, V., Oinam, B., & Singh, I. H. (2021). *Predicting the current and future potential spatial distribution of endangered Rucervus eldii eldii (Sangai) using MaxEnt model*. . Environmental Monitoring and Assessment.
- Antonio, G. F. (2020). *A indústria de fertilizantes nitrogenados do Brasil: atuais desafios e oportunidades*. Univerdidade Federal do Rio de Janeiro.
- APA-SNIAMB. (s.d.). *Sistema Nacional de informação do Ambiente*. Agencia Portuguesa do Ambiente. Obtido de <https://sniamb.apambiente.pt/content/geo-visualizador>
- Arab, S. T., Noguchi, R., Matsushita, S., & Ahamed, T. (2021). *Prediction of grape yields from time-series vegetation indices using satellite remote sensing and a machine-learning approach*. Remote Sensing Applications: Society and Environment.
- Arruda, M. P. (2021). *Entre o alívio à pobreza e o desenvolvimento rural: ideias e paradigmas do Programa Garantia Safra*. UnB.

- Austin, M. P., & Van Niel, K. P. (2011). *Impact of landscape predictors on climate change modeling of species distributions: a case study with Eucalyptus fastigata in southern New South Wales, Australia*. Oxford: Journal of Biogeography.
- Back, Á., & Bruna, E. D. (2009). *Demanda hídrica e necessidade de irrigação da videira para Urussanga*. Florianópolis: Agropecuária Catarinense.
- Baena, A. R. (1982). *Propriedades físicas dos principais solos da Amazônia brasileira em condições naturais*. Embrapa.
- Baptista, M. (2020). *Análise temporal de NDVI sobre a cobertura vegetal da Área de Proteção Ambiental (APA) Costa Brava em Balneário Camboriú (SC)*. Metodologias e Aprendizado.
- Batista, M. A. (2018). *Princípios de fertilidade do solo, adubação e nutrição mineral*. Scielo Books.
- Belloli, T. F. (2019). *Estimativa de biomassa e estoque de carbono de vegetação macrofítica a partir de dados espectrais e de campo*. Banhado Grande.
- Bergamaschi, H. (2007). *O clima como fator determinante da fenologia das plantas. Fenologia: ferramenta para conservação, melhoramento e manejo de recursos vegetais arbóreos*. Colombo: Embrapa Florestas.
- Bjurström, A., & Polk, M. (2011). *Physical and economic bias in climate change research*. Sweden: Climatic Change.
- Boiarskii, B., & Hasegawa, H. (2019). *Comparação dos índices NDVI e NDRE para detectar diferenças na vegetação e no conteúdo de clorofila*. J.Mech.
- Borges, V. R. (2010). *Comparação entre as técnicas de agrupamento K-Means e Fuzzy C-Means para Segmentação de Imagens Coloridas*. VIII Encontro Anual de Computação.
- Bramley, R. (2001). *Progress in the development of precision viticulture – Variation in yield, quality and soil properties in contrasting Australian vineyards*. In: *Precision Tools for Improving Land Management*. L.D. Currie and P. Loganathan. Occas.
- Bramley, R. G., & Lamb, D. W. (2003). *Making sense of vineyard variability in Australia*. In *Proc. Internat. Symp. on Precision Viticulture*. Ninth Latin American Congr. on Viticulture and Oenology.
- Breiman, L. (2001). *Random forests*. Machine learning.
- Breiman, L., Friedman, J. H., Olshen, R. A., & Stone, C. J. (1984). *Classification and Regression Trees*. Mathematics & Statistics.
- Breiman, L., Friedman, J. H., Olshen, R. A., & Stone, C. J. (1986). *Classification and Regression Trees*. Wadsworth and Brooks/Cole.
- Brighenti, E., & Tonietto, J. (2004). *O clima de São Joaquim para a viticultura de vinhos finos: classificação pelo sistema CCM Geovitícola*.
- Buckingham, E. (1907). *Studies on the movement of soil moisture*. US Dept. Agric. Bur. Soils Bull., 38.

- Camargo, F. A. (1999). *Alterações eletroquímicas em solos inundados*. Ciência Rural.
- Camargo, M. B., Brunini, O., & Miranda, M. A. (1986). *Modelo agrometeorológico para estimativa da produtividade da cultura da soja no Estado de São Paulo*. Bragantia: Scielo Brasil.
- Cardoso, A. S., Alonso, J., Rodrigues, A. S., Araújo-Paredes, C., Mendes, S., & Valín, M. I. (2019). *Agro-ecological terroir units in the North West Iberian Peninsula wine regions*. Applied Geography.
- Cardoso, N. M. (2023). *Impacto das alterações climáticas nas necessidades energéticas de edifícios vernáculos alentejanos de elevada massa*. Universidade do minho.
- Carvalho, A. (2011). *As Alterações Climáticas, os Media e os Cidadãos*. Universidade do minho.
- Carvalho, D. F., Cruz, E. S., Pinto, M. F., Silva, L. D., & Guerra, J. G. (2009). *Características da chuva e perdas por erosão sob diferentes práticas de manejo do solo*. . Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental.
- Castro, A. M. (2013). *Aplicação de cinco índices bioclimáticos a algumas castas da Região de Vinho*. Universidade do Porto: Faculdade de Letras .
- CETESB. (2011). *Definição de solo*. Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. Obtido de <https://cetesb.sp.gov.br/solo/>
- Chen, T., & Guestrin, C. (2016). *XGBoost: A Scalable Tree Boosting System*. In *Proceedings of the 22nd ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining*. Association for computing Machinery. Obtido de <https://doi.org/10.1145/2939672.2939785>
- Cinat, P. D. (2019). *Comparison of unsupervised algorithms for Vineyard Canopy segmentation from UAV multispectral images*. Remote Sensing,. MDPI.
- Copernicus Sentinel-2. (2021). *MSI Level-2A BOA Reflectance Product. Collection 1*. European Space Agency. Obtido de https://doi.org/10.5270/S2_-znk9xsj
- Correia, K. C. (2014). *Manejo integrado de doenças do sistema radicular: bases científicas, estratégias e práticas. Sanidade de raízes*. Departamento de Agronomia, Universidade Federal Rural de Pernambuco.
- Costa, C. F. (2015). *Modelos espacialmente explícitos de análise de dinâmicas locais: o caso da vegetação natural potencial no apoio ao planeamento e ordenamento territorial*. Livro de Atas do SASIG.
- Costa, E. S. (2013). *Matéria orgânica do solo e o seu papel na manutenção e produtividade dos sistemas agrícolas*. Enciclopédia biosfera.
- Costacurta, A., & Roselli, G. (1980). *Criteres climatiques et edaphiques pour l'etablissement des vignobles [vigne]*. France: Bulletin de l'OIV.
- Crioni, P. L. (2024). *Aplicação do sensoriamento remoto com imagens do satélite Sentinel-2 no estudo e validação de recursos hídricos no Brasil*. Universidade Estadual Paulista (Unesp).
- Cristofari, L. P. (2022). *Avaliação da atividade biológica em diferentes manejos de áreas de várzea para implantação da cultura da soja*. UFSM.

- Cruz, G. D., Ribeiro, R. D., Gama, J. R., Almeida, B. D., Ximenes, L. C., Gomes, K. M., & Bezerra, T. G. (2019). *Adjustment and assessment of volumetric estimation for *Lecythis lurida* (Miers) SA Mori in a forest management area*. CABI Digital Library.
- CVRVV. (s.d.). *Casta loureiro*. Vinho Verde.
- Daglio, G. C. (2022). *Potential field detection of Flavescence dorée and Esca diseases using a ground sensing optical system*. iosystems Engineering.
- Dalmolin, R. S. (2002). *Matéria orgânica e características físicas, químicas, mineralógicas e espectrais de Latossolos de diferentes ambientes*. Porto alegre, Brasil: UFRGS.
- Daly, H. E. (2005). *Sustentabilidade em um mundo lotado*. Scientific American.
- Dias, D. E. (2017). *Castas de Portugal: Loureiro*. Vida rural. Obtido de <https://www.vidarural.pt/sem-categoria/casta-de-portugal-loureiro/>
- Díaz San Andrés, A. (2022). *Biogeografia*.
- Direção Geral do Território. (2018). *Cartografia temática de uso e ocupação do solo para Portugal Continental*. Lisboa. Obtido de <https://snig.dgterritorio.gov.pt/rndg/srv/por/catalog.search#/metadata/b498e89c-1093-4793-ad22-63516062891b?tab=techinfo>
- Direção Geral do Território. (2023). *Carta Administrativa Oficial de Portugal (CAOP)*. Lisboa. Obtido de <https://snig.dgterritorio.gov.pt/rndg/srv/por/catalog.search#/metadata/198497815bf647ecaa990c34c42e932e>
- Direção Geral do Território. (2023). *OrtoSat 30 cm - Portugal Continental – 2023*. DGT. Obtido de <https://snig.dgterritorio.gov.pt/rndg/srv/por/catalog.search#/metadata/b2a1ca02-779b-4189-b895-85d10fff610f>
- Doorenbos, J., & Kassam, A. (1979). *Yield response to water*. Roma: FAO.
- Edenius, L., & Mikusiński, G. (2006). Utility of habitat suitability models as biodiversity assessment tools in forest management. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 62-72.
- Egipto, R., Lopes, C. M., Braga, R., Pedroso, V., Neto, M. C., & Pinto, P. A. (2013). *Relações entre índices bioclimáticos e composição da uva à vindima: comparação entre índices clássicos e novos índices*. Evora: Actas 9º Simp. de Vitivinicultura do Alentejo.
- ESDAC, C. E. (s.d.). Comissão Europeia: Centro Comum de Pesquisa. Obtido de esdac.jrc.ec.europa.eu
- Falcetti, M. (1994). *The "Terroir". What is the "Terroir"? Why study it? Why teach it?*.
- Faquin, V. (2005). *Nutrição mineral de plantas*. Lavras: UFLA/Faepe.
- Felgueiras, C. A., de Oliveira Ortiz, J., & Camargo, E. C. (2017). *Modelagem espacial por técnicas fuzzy para obtenção de cenários de aptidão utilizando dados de*

- elevação e de teor de argila do solo*. Brasil: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais.
- Felgueiras, C. A., de Oliveira Ortiz, J., Camargo, E. G., Namikawa, L. M., & Körting, T. S. (2017). *Modeling and visualization of uncertainties of categorical spatial data using geostatistics, 3D planar projections and color fusion techniques*. . GEOINFO.
- Fernández, F. M. (1990). *Biología de la vid: Fundamentos biológicos de la viticultura*. Universidade de Cornell: Mundi-Prensa.
- Fernández-Ugalde, O., Scarpa, S., Orgiazzi, A., Panagos, P., Van Liedekerke, M., & Marechal A. & Jones, A. (2022). *LUCAS 2018 Módulo de Solo. Apresentação do conjunto de dados e resultados, EUR 31144 EN*. Luxemburgo: Serviço das Publicações da União Europeia.
- Ferreira, I. J. (2020). *Impacto das mudanças climáticas sobre a biomassa acima do solo em fragmentos de Mata Atlântica*. Brasil: Instituto Brasileiro de Informação em Ciência e Tecnologia.
- Ferreira, M. (1992). *Melhoramento e a silvicultura intensiva clonal*. Piracicaba: Scientia Florestalis,.
- Ferro, M. V. (2023). *Assessment of vineyard vigour and yield spatio-temporal variability based on UAV high resolution multispectral images*. biosystems engineering.
- Figueiredo, T. (2012). *Pedregosidade dos Solos em Trás-os-Montes: importância relativa e distribuição espacial*. Bragança: Escola Superior Agrária.
- Fraga, H., Cortázar Atauri, I. G., & Santos, J. A. (2018). *Viticultural irrigation demands under climate change scenarios in Portugal*. Agricultural water management.
- Fraga, H., Malheiro, A. C., Moutinho-Pereira, J., & Santos, J. (2014). *Climate factors driving wine production in the Portuguese Minho region*. Vila Real: Agricultural and Forest Meteorology.
- Fraga, H., Santos, J. A., Pereira, J., Carlos, C., Silvestre, J., Eira-dias, J., . . . Malheiro, A. C. (2015). *Statistical modelling of grapevine phenology in Portuguese wine regions: observed trends and climate change projections*. The Journal of Agricultural Science.
- Francisco, P. R. (2015). *Análise e Mapeamento dos Índices de Umidade, Hídrico e Aridez através do BHC para o Estado da Paraíba*. Brasil: Revista Brasileira de Geografia Física.
- Francisco, P. R., Medeiros, R. D., Matos, R. D., Bandeira, M. M., & Santos, D. (2015). *Análise e Mapeamento dos Índices de Umidade, Hídrico e Aridez através do BHC para o Estado da Paraíba*. Revista Brasileira de Geografia Física.
- Friedman, J. H. (1991). *Multivariate adaptive regression splines*. The annals of statistics. Project Euclid.
- Friedman, J. H. (2001). *Greedy Function Approximation: A Gradient Boosting Machine*. The Annals of Statistics. Project Euclid.

- Friedman, J., Hastie, T., & Tibshirani, R. (2010). *Regularization paths for generalized linear models via coordinate descent*. Journal of statistical software.
- Garreto, F. G., & Nunes, J. G. (2022). *Introdução á física do solo*. Solo: Panorama da formação, uso, degradação e conservação.
- Garrido, J. (2022). Doenças do lenho da videira – prevenir é o único remédio. (Syngenta, Entrevistador) Obtido de <https://www.agroportal.pt/doencas-do-lenho-da-videira-prevenir-e-o-unico-remedio/>
- Garrido, L. D. (1999). *Chave para identificação de agentes causadores de declínio da videira*. Embrapa .
- Gavrilović, M. J. (2024). *Vineyard Zoning and Vine Detection Using Machine Learning in Unmanned Aerial Vehicle Imagery*. Remote Sensing.
- Genisheva, Z. (2007). *Caracterização aromática varietal das castas brancas recomendadas para a produção de vinho verde*. Portugal: Universidade do Minho .
- Genisheva, Z. (2007). *Caracterização aromática varietal das castas brancas recomendadas para a produção de vinho verde*. Portugal: Universidade do Minho.
- Ghini, R. (2006). *Influência das mudanças climáticas na agricultura*. In: congresso Sul Brasileiro de Meio Ambiente. Seminário Regional de Educação Ambiental: Semana Acadêmica de Tecnologia em Meio Ambiente.
- Giovannini, E. (2005). *Produção de uvas para vinho, suco e mesa*. Porto Alegre: Renascença.
- Gladstones, J., & Smart, R. E. (1997). *Terroir. The Oxford companion to wine*. edited by: Robinson, J., Am. J. Enol. Viticult.
- Global Solar Atlas 2.0. (s.d.). *[Dados geograficos irradiância solar] um aplicativo gratuito baseado na web desenvolvido e operado pela empresa Solargis sro em nome do Grupo Banco Mundial, utilizando dados Solargis,. com financiamento fornecido pelo Energy Sector Management Assistance Program ESMAP*. Obtido de <https://globalsolaratlas.info/support/faq>
- Gonçalves-Rodrigues, T., Silva, R., Mouta, N., Barros, C., Mendes, S., Paredes, C., . . . Alonso, J. (2022). *Mapeamento Digital do Solo para monitorização de parâmetros edáficos (Sentinel-2 e VANT) de suporte à conservação do solo e gestão hídrica em parcelas de vinha*. Revista de Ciências Agrárias.
- González, M. A., Rodríguez, J. P., & Acebedo, Y. P. (2014). *Caracterización del clima para el desarrollo del cultivo de la vid en las condiciones de Jagüey Grande Provincia de Matanzas*. Unidad Científico Tecnológica de Base Jagüey Grande-IIFT; Instituto de Investigaciones en Fruticultura Tropical-IIFT. .
- Guerra, L. R. (2024). *Classificação de uso do solo para agricultura com imagens do Sentinel-2 e CNN VGG-16*. UFRGS Lume.
- Ha, M., & Schleiger, R. (2004). *Solos*. Yuba College & Butte College: Open Educational Resources Initiative. Obtido de

- [https://query.libretexts.org/Idioma_Portugues/Ci%C3%A2ncia_Ambiental_\(Hae_Schleiger\)/02%3A_Ecologia/2.04%3A_Ecossistemas/2.4.04%3A_Solos](https://query.libretexts.org/Idioma_Portugues/Ci%C3%A2ncia_Ambiental_(Hae_Schleiger)/02%3A_Ecologia/2.04%3A_Ecossistemas/2.4.04%3A_Solos)
- Hastie, T. J., & Tibshirani, R. J. (1990). *Generalized Additive Models*. CRC Press.
- Hastie, T., & Tibshirani, R. (1996). *Discriminant Adaptive Nearest Neighbor Classification*. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence.
- Hastie, T., Tibshirani, R., & Buja, A. (1994). *Flexible Discriminant Analysis by Optimal Scoring*. Journal of the American Statistical Association. Obtido de <https://doi.org/10.1080/01621459.1994.10476866>
- Heuvel, J., Tasies, J. P., Conejo, S. Q., & Prieto, L. E. (1986). *Índices bioclimáticos y agroclimáticos y distribución de comunidades vegetales*. Agroclimatología tropical.
- Hobson, R. D. (1972). *Surface roughness in topography: quantitative approach* In: Chorley. Chorley: Spatial analysis in geomorphology.
- Hoffmann, A. F. (2011). *A percepção e o contexto no desenho de estratégias de adaptação à mudança climática no uso agrícola das terras*. Dissertação (Mestrado em Agroecossistemas)–Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis).
- Huglin, P. (1986). *Biologie et écologie de la vigne*. FAO.
- Huglin, P., & Schneider, C. (1998). *Biologia e ecologia da videira*. FAO.
- IFAP. (2023). *Sistema de Identificação Parcelar ISIP: Parcelas e Ocupações de Solo*. Obtido de <https://www.ifap.pt/isip/ows/>
- INAG. (2013). *Modelo Digital de Terreno para Portugal Continental*. Obtido de <http://epic-webgis-portugal.isa.ulisboa.pt/data>
- Infovini. (s.d.). *Loureiro*. Obtido de <https://www.infovini.com/classic/pagina.php?codPagina=45&codCasta=3>
- Infraestruturas de Portugal, S.A. (2024). *Rede Rodoviária Nacional*. dados.gov. Obtido de <https://dados.gov.pt/fr/datasets/rede-rodoviaria-nacional/#description>
- IPCC, The Intergovernmental Panel on Climate Change. (2024). *The IPCC provides regular assessments of the scientific basis of climate change, its impacts and future risks, and options for adaptation and mitigation*. Obtido de https://pt.wikipedia.org/wiki/Painel_Intergovernamental_sobre_Mudancas_Climaticas
- Jones, G., & Davis, R. E. (2000). *Using a synoptic climatological approach to understand climate-viticulture relationships*. International Journal of Climatology.
- Jones, G., & Goodrich, G. (2008). *Influence of climate variability on wine regions in The western USA and on wine quality in the Napa Valley*. Oldendorf: Climate Research.
- Junior, C. (2011). *Matéria orgânica, capacidade de troca catiônica e acidez potencial no solo com dezoito cultivares de cana-de-açúcar*. Universidade Estadual Paulista (Unesp).

- Karakizi, C. O. (2016). *Vineyard detection and vine variety discrimination from very high resolution satellite data*. Remote Sensing. MDPI.
- Karakizi, C., & Oikonomou, M. (2016). *Vineyard Detection and Vine Variety Discrimination from Very High Resolution Satellite Data*. Remote sensing.
- Khalik, A., Comba, L., Biglia, A., Ricauda Aimonino, D., Chiaberge, M., & Gay, P. (2019). *Comparison of Satellite and UAV-Based Multispectral Imagery for Vineyard Variability Assessment*. Remote Sensing.
- Kin, S., Meki, M. N., Kim, S., & Kiniry, J. R. (2020). *Crop Modeling Application to Improve Irrigation Efficiency in Year-Round Vegetable Production in the Texas Winter Garden Region*. Texas: Agronomy.
- Köse, B. (2014). *Phenology and ripening of Vitis vinifera L. and Vitis labrusca L. varieties in the maritime climate of Samsun in Turkey's Black Sea Region*. South African Journal of Enology and Viticulture.
- Kutner, M. H., Nachtsheim, C. J., Neter, J., & Li, W. (2005). *Applied linear statistical models*. McGraw-hill: Hoa Sen University.
- Lamb, D. W. (2000). *The use of qualitative airborne multispectral imaging for managing agricultural crops-a case study in south-eastern Australia*. Australian Journal of Experimental Agriculture.
- Laville, P. (1990). *Le terroir, un concept indispensable a l'elaboration et á la protection des appellations d'origine comme a la gestation des vignobles: le cas de la France*. . Le Bulletin de l'OIV.
- Leao, P. D. (2004). *Principais variedades de uvas de mesa e porta-enxertos*. Embrapa.
- Lima, A. A. (2018). *Influência de mudanças climáticas sobre a diversidade Alfa e Beta de primatas da Mata Atlântica*. Brasil: BDTD.
- Lima, S. R. (2018). *Determinação das frações de fósforo no sedimento superficial dos principais rios da cidade de São Roque*. Doctoral dissertation, Universidade de São Paulo.
- Lorenzo, M. N., Taboada, J. J., Lorenzo, J. F., & Ramos, A. M. (2013). *Influence of climate on grape production and wine quality in the Rías Baixas*. North-western Spain: Regional Environmental Change.
- Luchese, E. B., Favero, L. O., & Lenzi, E. (2002). *Fundamentos da química do solo: teoria e prática*. Rio de Janeiro: Embrapa.
- Machado, C. I. (2010). *Vulnerabilidade da Região Demarcada do Douro às alterações climáticas e efeitos sobre o ciclo vegetativo da videira: o caso do Moscatel Galego*. Universidade do Minho.
- Mafrá, M. S. (2011). *Atributos químicos do solo e estado nutricional de videira Cabernet Sauvignon (Vitis vinifera L.) na Serra Catarinense*. Revista de Ciências Agroveterinárias.
- Magalhães, N. (2008). *Tratado de Viticultura - A Videira, A Vinha e o "Terroir"*. Lisboa: Chaves Ferreira. Publicações SA.

- Magalhães, N., Castro, R., Barros, A., Mendes, A., Martins, A., Cardoso, A., & Pinheiro, M. (2011). *Francisco Girão: Um inovador da viticultura do Norte de Portugal*. Porto: Fundação Francisco Girão.
- Magalhães, P. F. (2019). *Mecanização da poda e da vindima. Efeitos no rendimento*. Instituto superior de agronomia-Universidade de lisboa.
- Maia, M. M. (2013). *Influência das condições climáticas na produção e qualidade vitivinícola da Sub-Região de Castelo Rodrigo entre 1992 e 2012*. Portugal: Universidade de Coimbra .
- Maia, M. M. (2013). *Influência das Condições Climáticas na Produção e Qualidade Vitivinícola*. Universidade de Coimbra.
- Marchi, M., Castellanos-Acuña, D., Hamann, A., TongliWang, Ray, D., & Menzel, A. (2020). *ClimateEU, scale-free climate normals, historical time series, and future projections for Europe*. Edmonton, AB, Canada: University of Alberta.
- Marco, K. D. (2012). *Aptidão agroclimática e características agronômicas do feijão-comum semeado na safra das águas em Tangará da Serra*. Enciclopédia Biosfera.
- Martins, É. D. (2004). *Evolução geomorfológica do Distrito Federal*. Embrapa.
- Martins, P. F., Scaranari, J. H., Ribeiro, A. J., Terra, M. M., Igue, T., & Pereira, M. F. (1981). *Valor comparativo de cinco porta-enxertos para cultivo de uva de mesa*. Recife: anais: Congresso brasileiro de Fruticultura p. 1300-1310.
- Mattivi, P., Franci, F., Lambertini, A., & Bitelli, G. (2019). *TWI computation: a comparison of different open source GIS*. Open Geospatial Data, Software and Standards.
- McCullagh, P. (1989). *Generalized Linear Models*. Routledge. Obtido de <https://doi.org/10.1201/9780203753736>
- McCune, B., & Keon, D. (2002). *Equations for potential annual direct incident radiation*. Sweden: Journal of Vegetation Science. Obtido de <https://sites.science.oregonstate.edu/~mccuneb/JVSreprint13.603-606.pdf>
- Mendes, S., Alonso, J., Araújo-Paredes, C., Valin, M. I., Rodrigues, A. S., Afonso, I., . . . Cortez, I. (2019). *TERR@ ENO-Terroir e zonagem agro-ecológica como fator crítico de competitividade e inovação dos Vinhos Verdes*. Congresso Ibérico de Agroingeniería.
- Mendonça, B. S. (2013). *Contributo Para um Sistema de Informação Agrícola. Caso de Estudo da Vinha e do Trigo no Alentejo*. Portugal: Universidade de Lisboa.
- Mesquita, S. C. (2004). *Bioclimatologia da Ilha da Madeira: abordagem numérica*. . Quercetea, 6, 47-59.
- Meyers, J. M. (2014). *Use of normalized difference vegetation index images to optimize vineyard sampling protocols*. American Journal of Enology and Viticulture.
- Milhorance, C., Sabourin, E., & Chechi, A. L. (2019). *Adaptação às mudanças climáticas e integração de políticas públicas no semiárido pernambucano*. Brasília: Artimix.

- Montanari, R. (2011). *Produtividade da soja em função de algumas propriedades do solo sob plantio direto em um ferralsol do cerrado brasileiro*. Universidade da Coruna.
- Moral, F. J., Rebollo Castillo, F. J., Paniagua Simón, L. L., & García Martín, A. (2016). *A GIS-based multivariate clustering for characterization and ecoregion mapping from a viticultural perspective*. Universidade de extremadura.
- Moreira, J. A. (2022). O mundo já está de olhos nela: é a casta Loureiro! *Publico*. Obtido de <https://www.publico.pt/2022/06/30/terroir/noticia/mundo-ja-olhos-nela-casta-loureiro-2011687>
- Moreira, J. A. (2024). Em prova: o loureiro ganha peso entre os melhores brancos. *Publico*. Obtido de <https://www.publico.pt/2024/05/15/edicoes-publico/noticia/prova-loureiro-ganha-peso-melhores-brancos-2089972>
- Mota, R. V., Silva, C. P., Favero, A. C., Purgatto, E., Shiga, T. M., & Regina, M. D. (2010). *Composição físico-química de uvas para vinho fino em ciclos de verão e inverno*. Revista Brasileira de Fruticultura.
- Mota, T., Garrido, J., Cerdeira, A., Fernandes, D., Andrade, I., Francisco, É., & Castro, I. (2013). *Cultural and enological performance of minority varieties (Vitis Vinifera L.) of the Vinhos Verdes DOC Region*. Porto: The 18th International Symposium GiESCO 2013 (Group of international Experts of vitivinicultural Systems for CoOperation).
- Münier, B., Birr-Pedersen, K., & Schou, J. S. (2004). *Combined ecological and economic modelling in agricultural land use scenarios*. Ecological Modelling.
- Naves, R. D., Garrido, L. D., & Fajardo, T. V. (2012). *Doenças da videira causadas por fungos, vírus e bactérias*.
- Nelder, J. A., & Wedderburn, R. W. (1972). *Generalized linear models*. Journal of the Royal Statistical Society Series A: Statistics in Society.
- Nhancololo, A. M. (2024). *Comparação entre o método laboratorial e o penetrômetro de Stolf na análise da densidade do solo: um estudo utilizando abordagens geoestatísticas*. Sigmae.
- Nuñez, J. C., Ramazzotti, S., Stagnari, F., & Pisante, M. (2011). *A multivariate clustering approach for characterization of the Montepulciano d'Abruzzo Colline Teramane area*. American Journal of Enology and Viticulture.
- Oliveira, J. M. (2001). *Aromas varietais e de fermentação determinantes de tipicidade das castas Loureiro e Alvarinho*. Universidade do Minho.
- Oliveira, L. F. (2018). *Proposta de métodos de clusterização de dados com validação por testes de heterogeneidade e discordância aplicados à regionalização de bacias hidrográficas*. Universidade Federal de Pelotas).
- Oliveira, L. F., Lemke-de-Castro, M. L., Rodrigues, C., & Borges, J. D. (2010). *Isotermas de sorção de metais pesados em solos do cerrado de Goiás*. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental.
- Orgiazzi, A., Ballabio, C., Panagos, P., Jones, A., & Fernández-Ugalde, O. (2018). *LUCAS Soil, o maior conjunto de dados de solo expansível para a Europa: uma*

- revisão. *European Journal of Soil Science*. Obtido de <https://doi.org/10.1111/ejss.12499>
- Panagos P., V. L. (2012). *European Soil Data Centre: Response to European policy support and public data requirements*. Land Use Policy. Obtido de <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2011.07.003>
- Panagos, P. V. (2022). *European Soil Data Centre 2.0: Soil data and knowledge in support of the EU policies*. *European Journal of Soil Science*. Obtido de <https://doi.org/10.1111/ejss.13315>
- Patel, N. R. (2004). *Remote sensing and GIS application in agro-ecozoning*. In *Proceedings of the Training Workshop*. . India: Dehra Dun.
- Paz, F. J., & Kipper, L. M. (2016). *Sustentabilidade nas organizações: vantagens e desafios*. *Revista Gestão da Produção Operações e Sistemas*.
- Pedrozo, A. K. (2015). *Análise das variações de precipitação na região hidrográfica do alto Paranapanema (UGRH-14) nos verões de 2001 a 2013*. Brasil: Universidade Estadual Paulista (UNESP).
- Pereira, J. R. (2014). *Estudos preliminares do comportamento da videira (Vitis vinifera L.), CV.'Crissom Seedless' em resposta a aplicação de bioestimulante e fertilizantes minerais*. Campus Petrolina Zona Rural, Petrolina: Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sertão Pernambucano.
- Pereira, L. S., Silva, D. O., & Pamboukian, S. V. (2016). *Sensoriamento remoto aplicado à agricultura de precisão no cultivo de bambu*. *Revista Mackenzie de Engenharia e Computação*.
- Pereira, L., Pereira, M., Brito, L. D., de Melo, R. F., & Camargo, A. (2010). *A agricultura e sua relações com o ambiente*. Embrapa.
- Petry, M. T. (2007). *Disponibilidade de água do solo ao milho cultivado sob sistemas de semeadura direta e preparo convencional*. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*.
- Phillips, S. J., Anderson, R. P., & Schapire, R. E. (2006). *Maximum entropy modeling of species geographic distributions*. *Ecological Modelling*. USA: Science Direct. Obtido de <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2005.03.026>
- Phillips, S. J., Anderson, R. P., Dudík, M., Schapire, R. E., & Blair, M. E. (2017). *"Abrindo a caixa preta: Uma versão de código aberto do Maxent*. *Ecography*.
- Phillips, S. J., Dudík, M., & Schapire, R. E. (2004). *A maximum entropy approach to species distribution modeling*. AT&T Labs. Obtido de http://rob.schapire.net/papers/maxent_icml.pdf
- Phillips, S. J., Dudík, M., & Schapire., R. E. (s.d.). *Software Maxent para modelagem de nichos e distribuições de espécies (Version 3.4.1)*. [Internet]: American Museum of Natural History. Obtido de http://biodiversityinformatics.amnh.org/open_source/maxent/
- Pinheiro, C. D. (2019). *Alternativas de sistemas de condução na casta Loureiro*. Bragança: Instituto politécnico de Bragança.

- Pinheiro, R. C. (2014). *Efeito do caulino e da orientação das linhas de plantação no comportamento fisiológico da videira*. Portugal: Universidade de Tras-os-Montes e Alto Douro.
- Pinto, I. (2024). Setor do vinho quer chegar aos 1,2 mil milhões de euros de exportações em 2030. *Diário de notícias*. Obtido de <https://www.dn.pt/4787581015/setor-do-vinho-quer-chegar-aos-12-mil-milhoes-de-euros-de-exportacoes-em-2030/>
- Pinto, P. A., Lopes, C. M., Braga, R., & Egipto, R. (2013). *SIAMVITI–Viticultura portuguesa num cenário de alterações climáticas: Impactos e medidas de adaptação*. Enovitis.
- Pirata, M. C. (2018). *Estudo do stress hídrico da vinha-castas Aragonês e Trincadeira*. Universidade de Évora.
- Prevéy, J. S., Parker, L. E., Harrington, C. A., Lamb, C. T., & Proctor, M. F. (2020). *Climate change shifts in habitat suitability and phenology of huckleberry (Vaccinium membranaceum)*. Agricultural and Forest Meteorology.
- Regina, M. D. (2006). *Implantação e manejo do vinhedo para produção de vinhos de qualidade*. Embrapa.
- Reichert, J. M. (2007). *Fundamentos da ciência do solo*. Universidade Federal de Santa Maria–Centro de Ciências Rurais–Brasil.
- Rivas-Martínez, S. (2007). *Mapa de Series, geoserries y geopermaseries de vegetación de España*. Itineraria Geobotanica.
- Rocha, L. S. (2021). *Aplicação de algoritmos não supervisionados (K-means e Clara)*. São Paulo: Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo.
- Rosolem, C. A. (2006). *Potássio no solo em consequência da adubação sobre a palha de milho e chuva simulada*. Agropecuária Brasileira.
- Salvador, C. G. (2022). *Proposta de modelo empírico para análise de suscetibilidade a fluxos de detritos com base na caracterização de cicatrizes*. Lume: Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS).
- Sampaio, E. (2007). *Avaliação da aptidão das terras- método recomendado pela FAO*. Universidade de Évora: Departamento de Geociências.
- Sampaio, T. (2008). *Parâmetros morfométricos para melhoria da acurácia do mapeamento da rede de drenagem – uma proposta baseada na análise da Bacia Hidrográfica do Rio Benevente*. Belo Horizonte.
- Sampaio, T. V., & Augustin, C. H. (2014). *Índice de concentração da rugosidade: uma nova proposta metodológica para o mapeamento e quantificação da dissecação do relevo como subsídio a cartografia geomorfológica*. Revista Brasileira de Geomorfologia.
- Santos, A. O. (2003). *Prospecção de zonas potenciais para manejo diferenciado em agricultura de precisão utilizando-se padrões de solo-planta-clima*. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental.
- Santos, L., Santos, F. N., Filipe, V., & Shinde, P. (2019). *Vineyard segmentation from satellite imagery using machine learning*. In *Progress in Artificial Intelligence*:

- 19th EPIA Conference on Artificial Intelligence. Vila Real, Portugal: Springer International Publishing.
- Santos, R. M. (2011). *Influência da umidade da temperatura do solo e no fluxo de calor no solo decorrentes da precipitação em uma área de pastagem na Amazônia*. Congresso brasileiro de Agrometeorologia.
- Sartori, M. L. (2021). *Cultivo da uva Itália (Vitis vinifera L.) no Paraná*. Revista de dialogo e interação.
- Seguin, G. (1986). 'Terroirs' and pedology of wine growing. . *Experientia*.
- Silva SP, V. M.-P. (2021). *Abordagem do Coeficiente de Dupla Cultura em Vitis vinifera L. cv. Loureiro*. . *Agronomia*. Obtido de <https://doi.org/10.3390/agronomy11102062>
- Silva, D. J. (2004). *Fertirrigação com nitrogênio em uvas sem sementes: 1 e 2 ciclos de produção*. Vale de São Francisco: Embrapa.
- Silva, J. A., Garreto, F. G., & Mendes, I. d. (2022). *Dinâmica dos macronutrientes no solo*. Solo:Panorama da formação, uso, degradação e conservação.
- Silva, L. S. (2020). *Algoritmo K-Means na Prática com Dados Determinados*. Medium. Obtido de <https://medium.com/@englucsantosilva/algoritmo-k-means-na-pr%C3%A1tica-75f4ca656bbc>
- Silva, P. L., Pereira de Oliveira, F., Moraes Borba, J. O., Dutra Tavares, D., Julio do Amaral, A., & Ferreira Martins, A. (2018). *Solos arenosos para Sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta em Arez*. Rio Grande do Norte.: Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável.
- Silva, S. P., Valín, M. I., Mendes, S., Araujo-Paredes, C., & Cancela, J. J. (2021). *Dual Crop Coefficient Approach in Vitis vinifera L. cv. Loureiro*. *Agronomy*.
- Silveira, C., Filho, F., Martins, E., Oliveira, J., Costa, A., Nobrega, M., . . . Silva, R. (2016). *Climate change in the São Francisco river basin: analysis of precipitation and temperature*. Revista Brasileira de Recursos Hídricos.
- Simões, C. (2015). *degradação da Paisagem ea sua Percepção após Invasão pela Espécie Acacia dealbata*. Doctoral dissertation, Master Dissertation in Gestão do Território. : Faculdade de Ciências Sociais e Humanas, Nova University, Lisbon).
- Sirtoli, A. E., SILVEIRA, d., T., C., Mantovani, L. E., Sirtoli, d. A., R., A., & Chisato, O. F. (2008). *Atributos do relevo derivados de modelo digital de elevação e suas relações com solos*. . *Scientia agraria*.
- Sobrinho, T. A. (2003). *Caracterização da infiltração de água em solos arenosos*. Scielo.
- Solomon, S. D. (2007). *Contribution of Working Group I to the fourth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change 2007*. Cini Research.
- Spezia, A. M. (2024). *Estudo de estratégias de validação cruzada baseadas em clusters*. Brasil: Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS).

- Stevenson, F. (1994). *Humus chemistry: Genesis, composition, and reactions*. New York: J. Wiley & Sons.
- Taiz, L., Zeiger, E., Møller, I. M., & Murphy, A. (2017). *Fisiologia e desenvolvimento vegetal*. Artmed Editora.
- Tardaguila, J., Stoll, M., Gutiérrez, S., Proffitt, T., Maria, P., & P., D. (2021). *Smart applications and digital technologies in viticulture: A review*. Smart Agricultural Technology.
- Tecchio, M. A. (2012). *Nutrição, calagem e adubação da videira*. Brasília: DF: Embrapa.
- Thode Filho, S. (2017). *Avaliação dos impactos ambientais associados ao descarte inadequado de óleos vegetais residuais em solos Brasileiros*. Universidade de Estado do Rio de Janeiro.
- Thuiller W, G. D. (2024). *biomod2: Ensemble Platform for Species Distribution Modeling*. R package version 4.2-6-1. Obtido de <https://biomodhub.github.io/biomod2/>
- Thuiller W., S. L. (2005). *Climate change threats to plant diversity in Europe*. PNAS.
- Thuiller, W. (2003). *BIOMOD – Optimizing predictions of species distributions and projecting potential future shifts under global change*. *Global Change Biology*. Wiley Online Library.
- Thuiller, W., Lafourcade, B., Engler, R., & Araújo, M. B. (2009). *BIOMOD – uma plataforma para previsão de conjuntos de distribuições de espécies*. França: Laboratoire d'Ecologie Alpine, UMR CNRS 5553, Univ. Joseph Fourier, BP 53, FR – 38041 Grenoble Cedex 9. – R. Engler, Dépt d'Ecologie et d'Evolution (DEE), Univ. de Lausanne, Bâtime.
- Tonietto, J., & Carbonneau, A. (2004). *A multicriteria climatic classification system for grape-growing regions worldwide*. *Agricultural and forest meteorology*.
- Tosin, R. M. (2022). *Canopy VIS-NIR spectroscopy and self-learning artificial intelligence for a generalised model of predawn leaf water potential in Vitis vinifera*. Biosystems Engineering.
- Trigueros, J. A. (2013). *Índices climáticos propios de la vid en el sector central de tierra de barros*. In *Actas de las IV Jornadas de Historia de Almendralejo y Tierra de Barros*. Asociación Histórica de Almendralejo.
- Vale, A. P., Rodrigues, A. S., Nunes, F., Afonso, I., Valin, I., Nogueira, J., . . . Madureira, T. (2016). *As condições naturais, na Sub-Região de Monção e Melgaço, para a zonagem agroecológica e identidade do Alvarinho*. Câmara Municipal de Monção. Obtido de <http://hdl.handle.net/20.500.11960/3544>
- Van Leeuwen, C., Friant, P. C., Tregoat, O., Koundouras, S., & Dubourdieu, D. (2004). *Influence of climate, soil, and cultivar on terroir*. *American Journal of Enology and Viticulture*.
- Vaudour, E. (2003). *Les terroirs viticoles: définitions, caractérisation et protection*. FAO.

- Vaudour, E., & Shaw, A. B. (2005). *A worldwide perspective on viticultural zoning*. . South African Journal of Enology and Viticulture.
- Veiga, M. M. (2007). *Agrotóxicos: eficiência econômica e injustiça socioambiental*. . Ciência & Saúde Coletiva.
- Vieira, R. F. (2003). *Indicadores de qualidade do solo: desenvolvimento de índices*. Valladolid. Resúmenes... Valladolid: ITACYL: Congresso virtual iberoamericano sobre gestión de calidad en laboratorios.
- Vinciguerra, T. C. (2024). *Efeitos da plantação de espécies autóctones nas propriedades físicas do solo e no armazenamento de carbono na reserva da Faia Brava*. Bragança: Instituto Politecnico de Bragança.
- Visacro Filho, S. (2002). *Aterramentos elétricos*. São Paulo: Artliber.
- Weber, E., Anzolch, R., J., L. F., Costa, C., A., & Iochpe, C. (1999). *Qualidade de dados geoespaciais*. . Rio Grande do Sul: Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- Wine e stuff. (2020). *Vinhos Verdes - Loureiro*. Porto.
- Winkler, A. J. (1974). *General viticulture*. University of California Press.
- Yadav, S., Bhattacharya, P., Areendran, G., Sahana, M., Raj, K., & Sajjad, H. (2021). *Predicting impact of climate change on geographical distribution of major NTFP species in the Central India Region*. . Modeling Earth Systems and Environment.
- Zambolim, L., Costa, H., & Vale, F. X. (2005). *Nutrição mineral e patógenos radiculares. Ecologia e Manejo de Patógenos Radiculares em Solos Tropicais*. Universidade Federal Rural de Pernambuco.
- Zevenbergen, L. W., & Thorne, C. R. (1987). *Terrain analysis for quantitative description*. Erosion and Sedimentation in the Pacific Rim.
- Zhou, L., Dickinson, R. E., Tian, Y., Zeng, X., Dai, Y., Yang, Z. L., & Shaikh, M. (2003). *Comparison of seasonal and spatial variations of albedos from Moderate-Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) and Common Land Model*. . Journal of Geophysical Research: Atmospheres.

7. ANEXOS

Lista de anexos presentes posteriormente:

Anexo 1 – Observação de clusters gerados em k-means

Anexo 2- Quadros de intervalos de valores de vinha (bandas e índices de vegetação)

Anexo 3- Variáveis climáticas importantes aos modelos e os cenários climáticos

Anexo 4 – Analise da importância de classificadores por repetição Casta 2

Anexo 5 – Analise da importância de variáveis por repetição Casta 2

Anexo 6 – Analise da importância de variáveis por repetição Casta 3

Anexo 7 – Analise da importância de classificadores por repetição Casta 3

Anexo 8 – Importância de variáveis das Castas em simultâneo (Casta2 e Casta3)

Anexo 9 – Importância de variáveis por classificador (Casta2 e Casta3)

Anexo 10 – Analise da importância de variáveis por repetição Casta 2 e 3

Anexo 11 – Analise da importância de classificadores por repetição Casta 2 e 3

Anexo 12 – Filtro aplicado às classificações para remover locais edificados

Anexo 13 – Variáveis da radiância solar

Anexo 14 – Variáveis climáticas do cenário referencia

Anexo 15 – Variáveis climáticas do cenário RCP4.5 (50 anos)

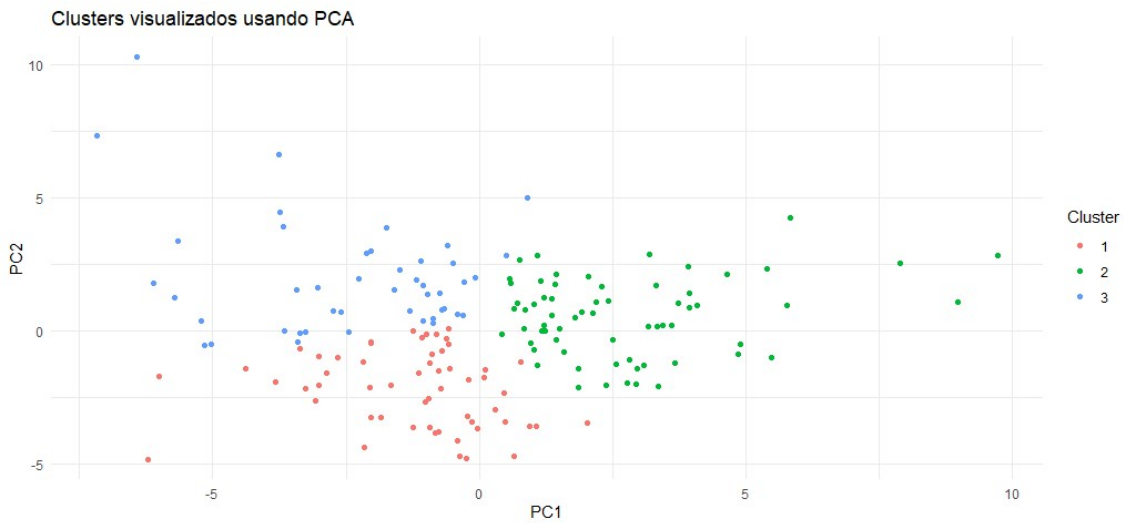
Anexo 16 – Variáveis climáticas do cenário RCP4.5 (80 anos)

Anexo 17 – Variáveis climáticas do cenário RCP8.5 (50 anos)

Anexo 18 – Variáveis climáticas do cenário RCP8.5 (80 anos)

Anexo 19 – Variáveis do solo

Anexo 1 – Observação de clusters gerados em k-means

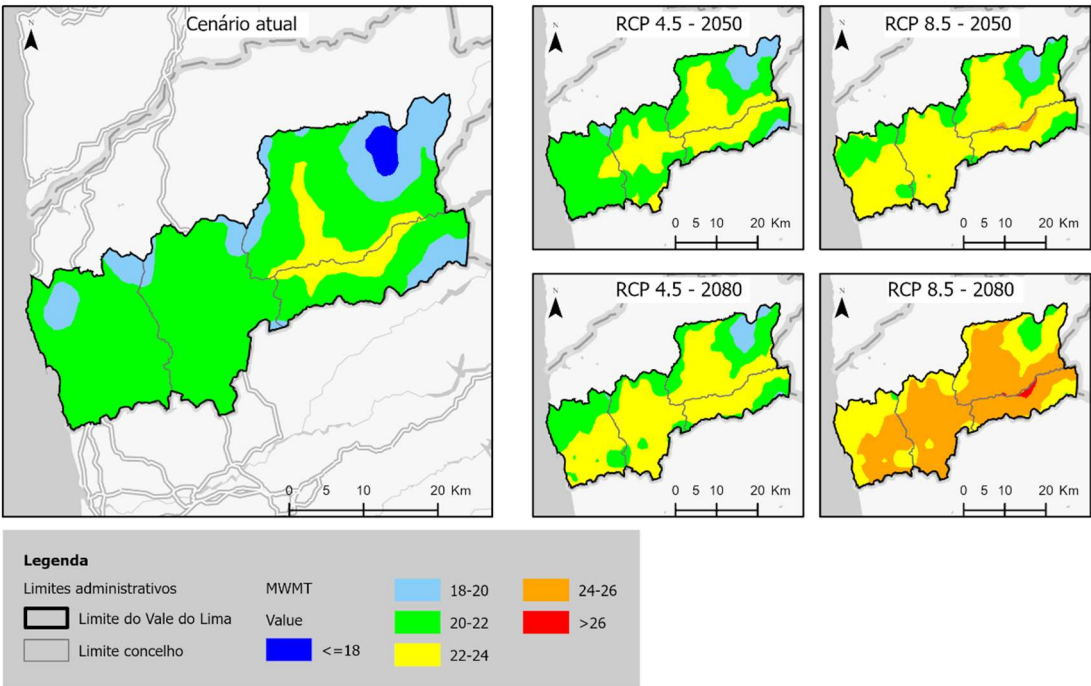


Anexo 2- Quadros de intervalos de valores de vinha (bandas e índices de vegetação)

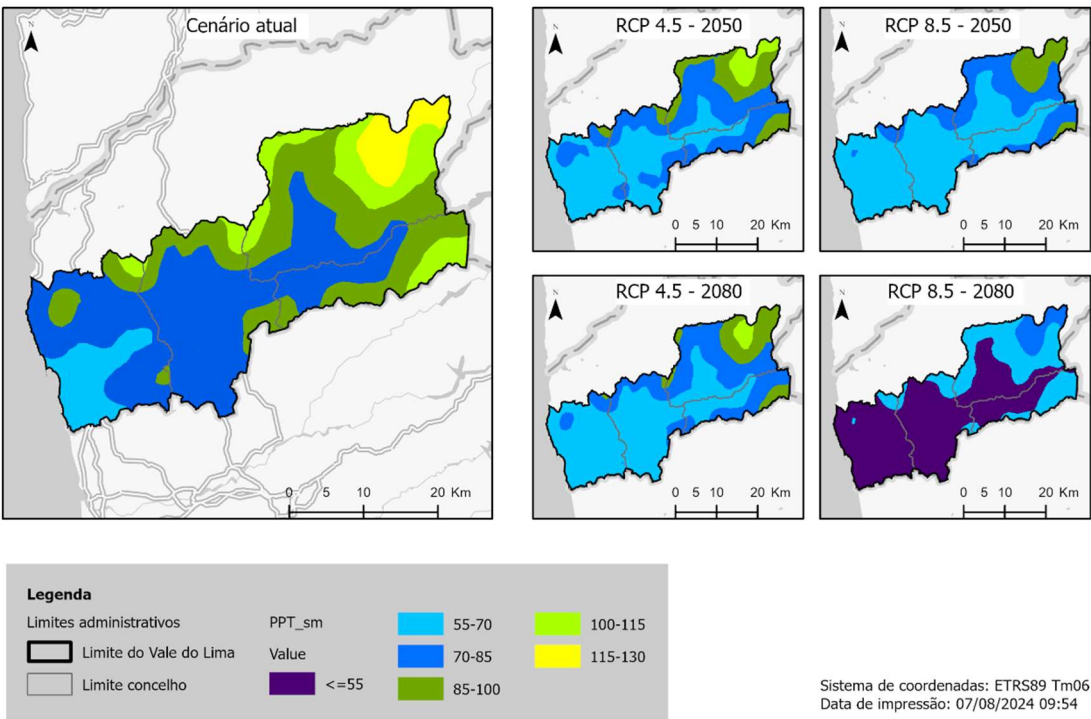
	nome	b11	b12	b1	b2	b3	b4	b5
Min.	0.00	2634	1820	1144	1275	1471	1312	1798
1st Qu.	41.25	3069	2275	1256	1361	1608	1496	2037
Median	82.50	3264	2432	1312	1430	1683	1595	2119
Mean	82.50	3286	2459	1317	1432	1678	1615	2124
3rd Qu.	123.75	3456	2596	1367	1476	1723	1699	2193
Max.	165.00	4123	3305	1720	1931	2289	2377	2851

	b6	b7	b8a	b8	b9	GNDVI	NDRE	NVDI
Min.	2349	2591	2843	2684	2994	0.2741	0.1703	0.2354
1st Qu.	3011	3377	3628	3478	3714	0.3605	0.2472	0.3600
Median	3301	3696	3944	3820	3958	0.3817	0.2781	0.3967
Mean	3276	3674	3938	3805	3978	0.3842	0.2799	0.4004
3rd Qu.	3480	3914	4176	4050	4193	0.4113	0.3126	0.4420
Max.	4445	5147	5358	5339	5158	0.5235	0.4408	0.6023

Anexo 3- Variáveis climáticas importantes aos modelos e os seus cenários climáticos

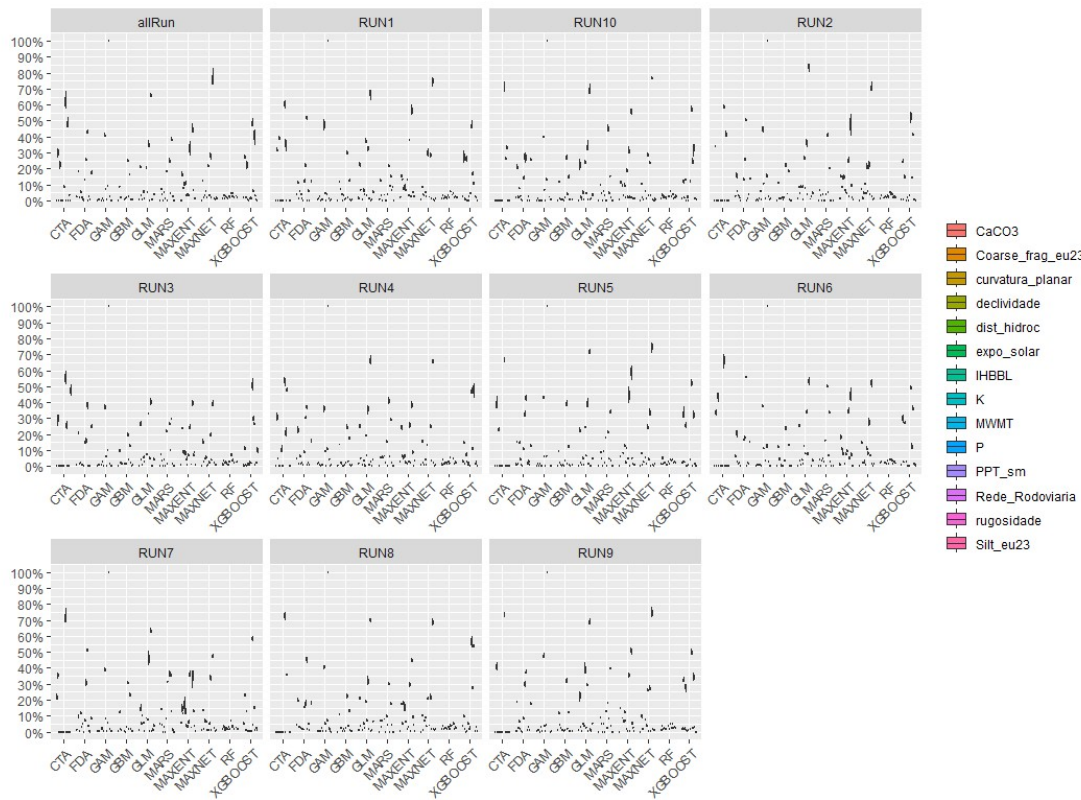


Sistema de coordenadas: ETRS89 Tm06
Data de impressão: 22/08/2024 17:27

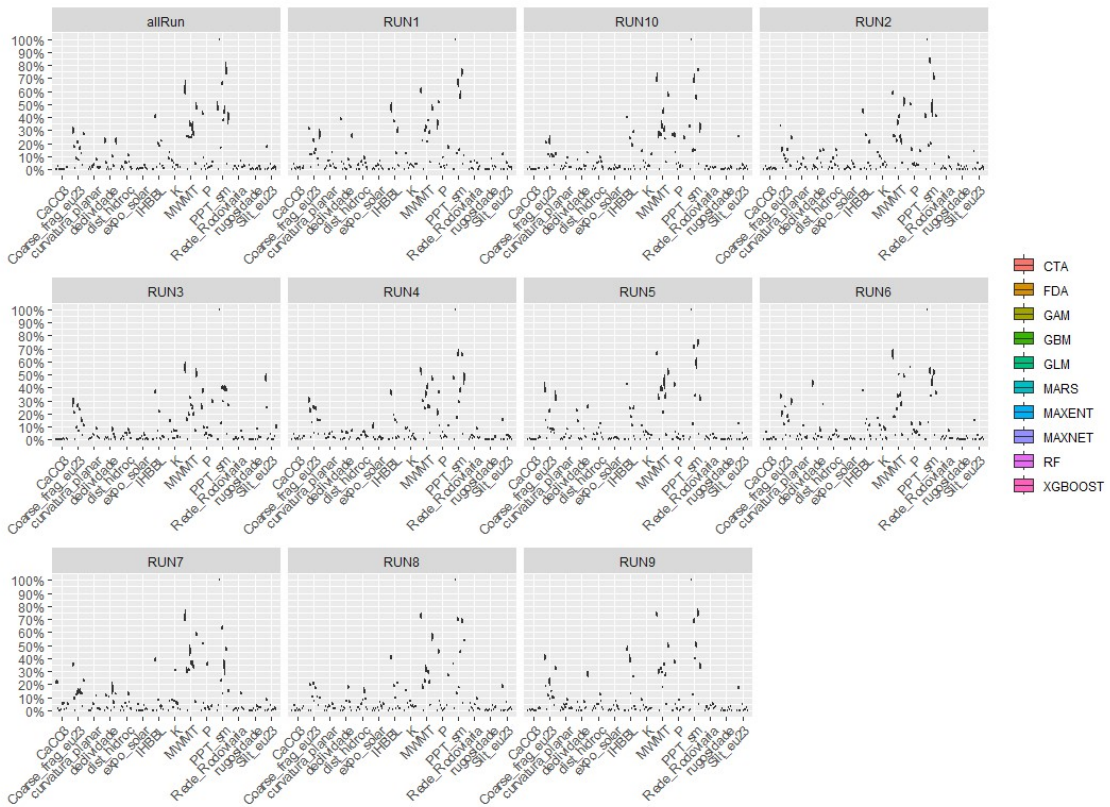


Sistema de coordenadas: ETRS89 Tm06
Data de impressão: 07/08/2024 09:54

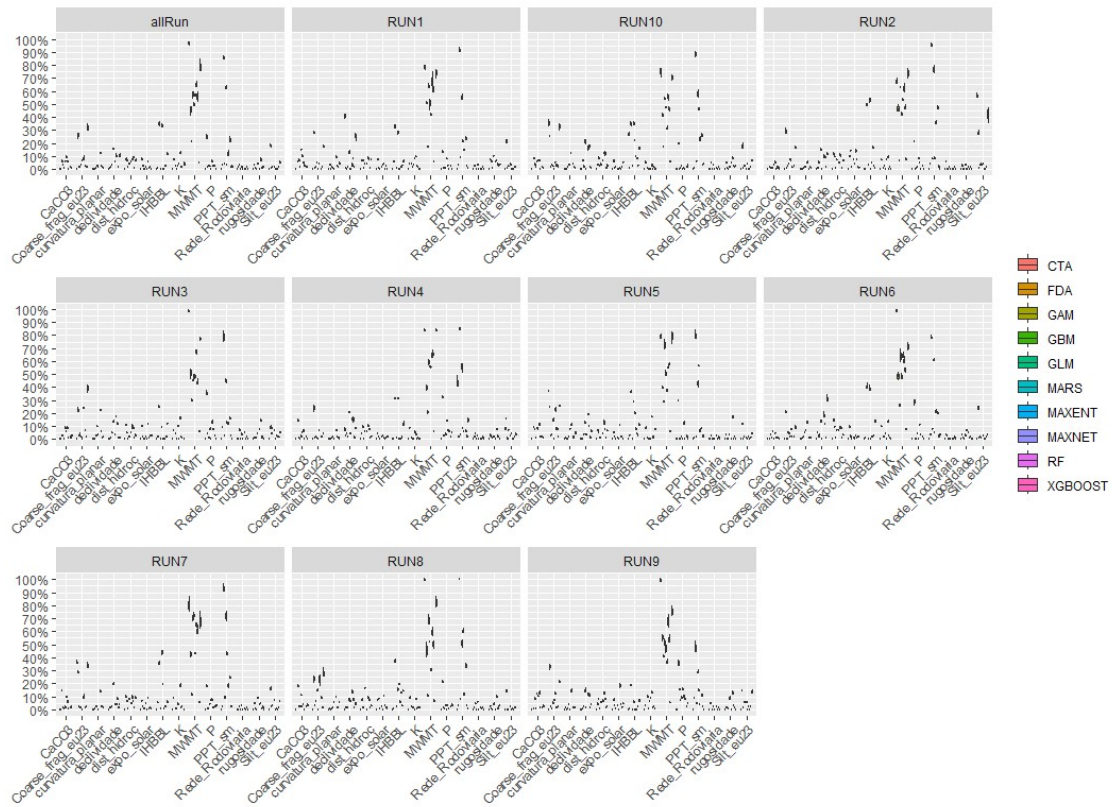
Anexo 4 – Análise da importância de classificadores por repetição Casta 2



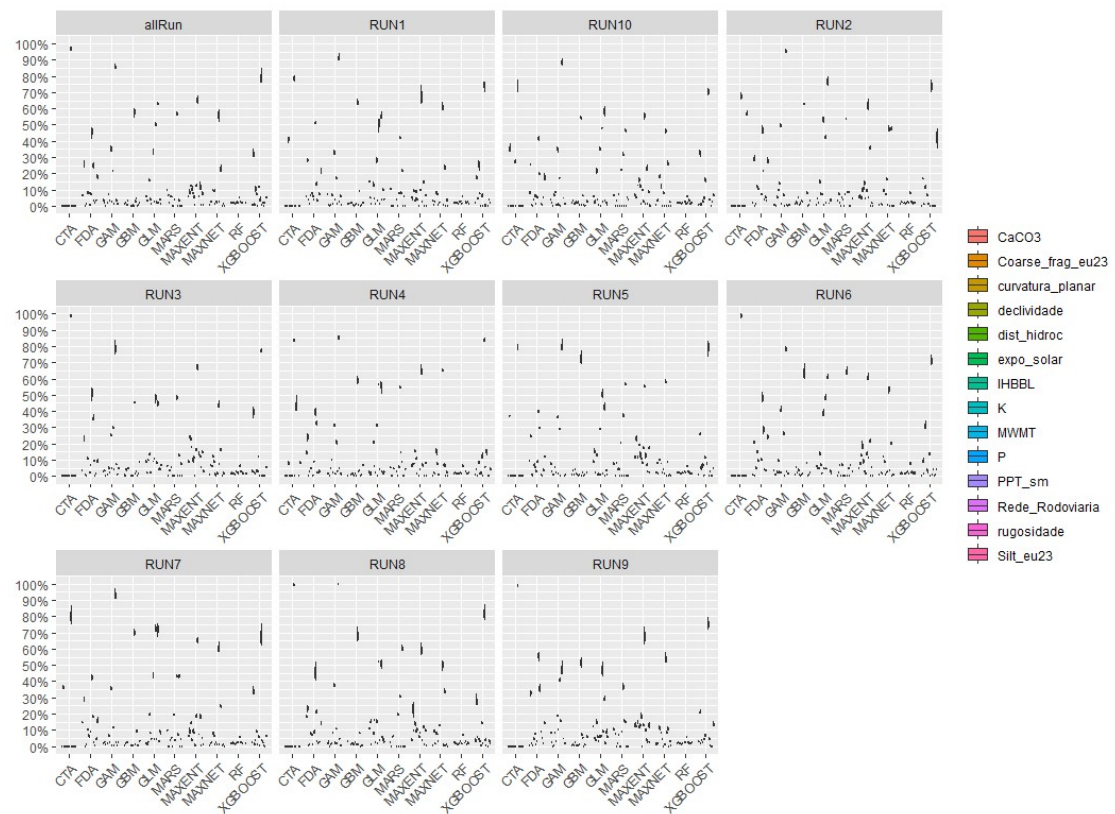
Anexo 5 – Análise da importância de variáveis por repetição Casta 2



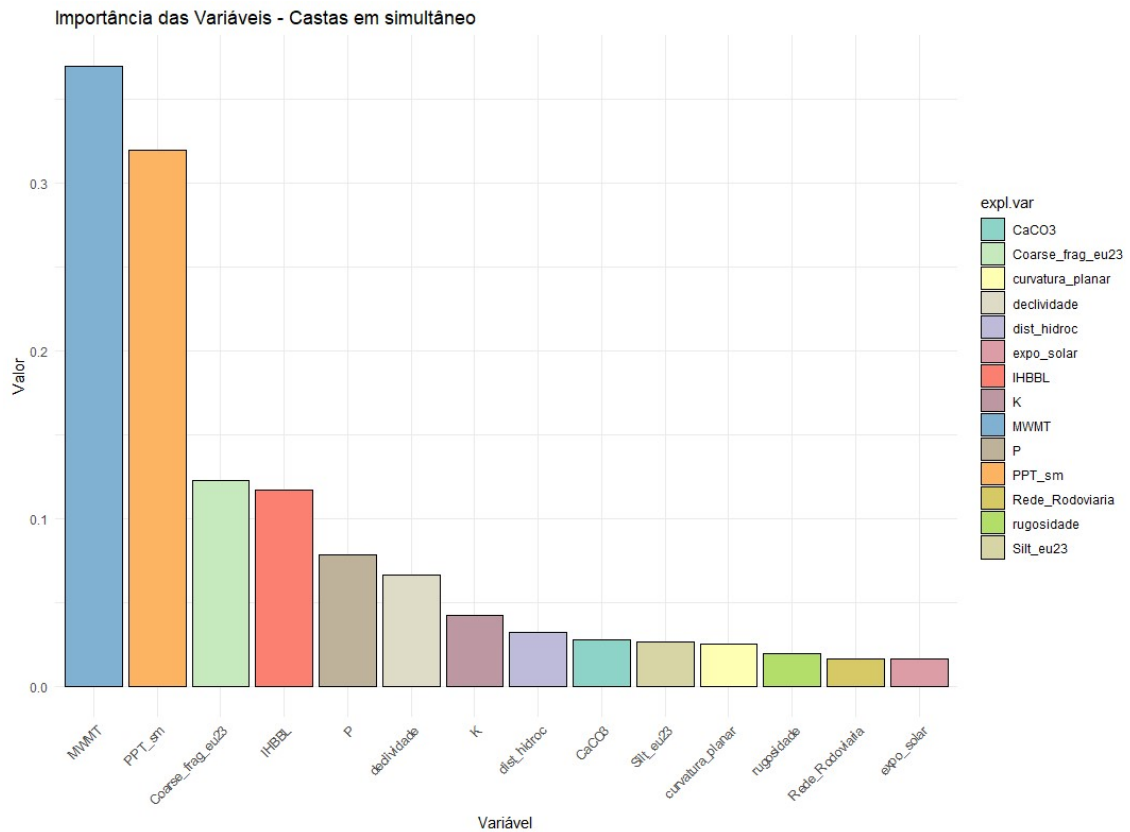
Anexo 6 – Análise da importância de variáveis por repetição Casta 3



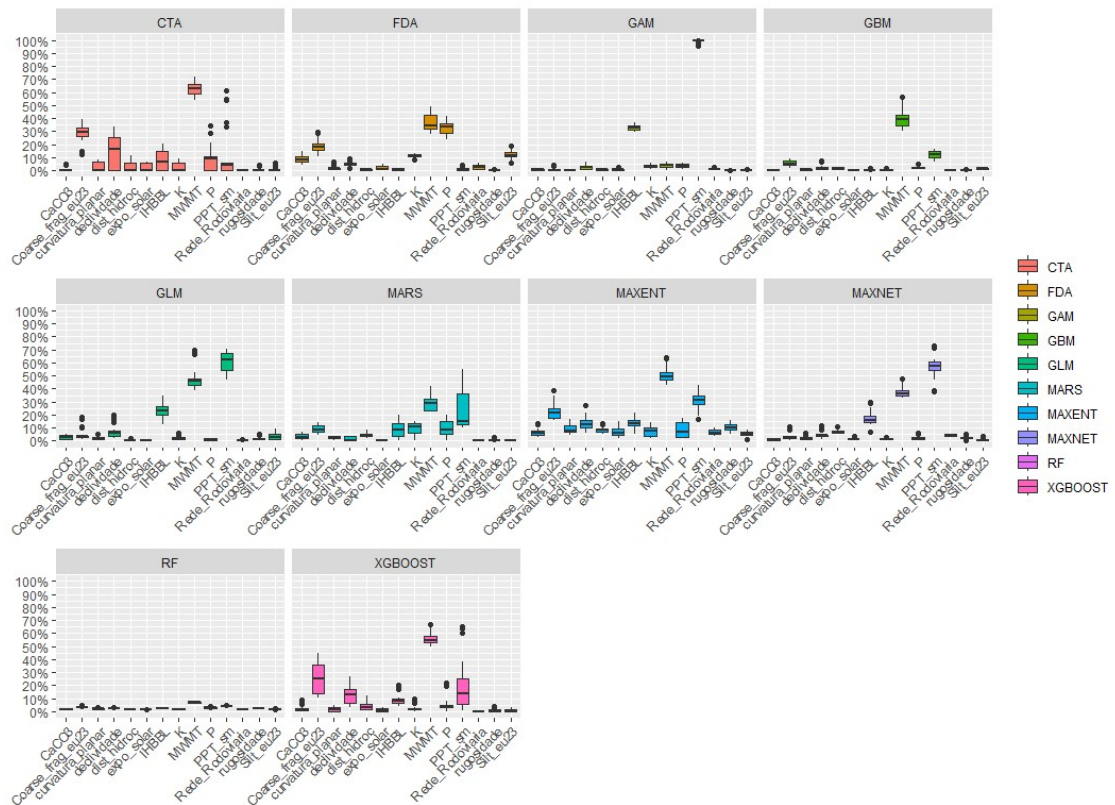
Anexo 7 – Análise da importância de classificadores por repetição Casta 3



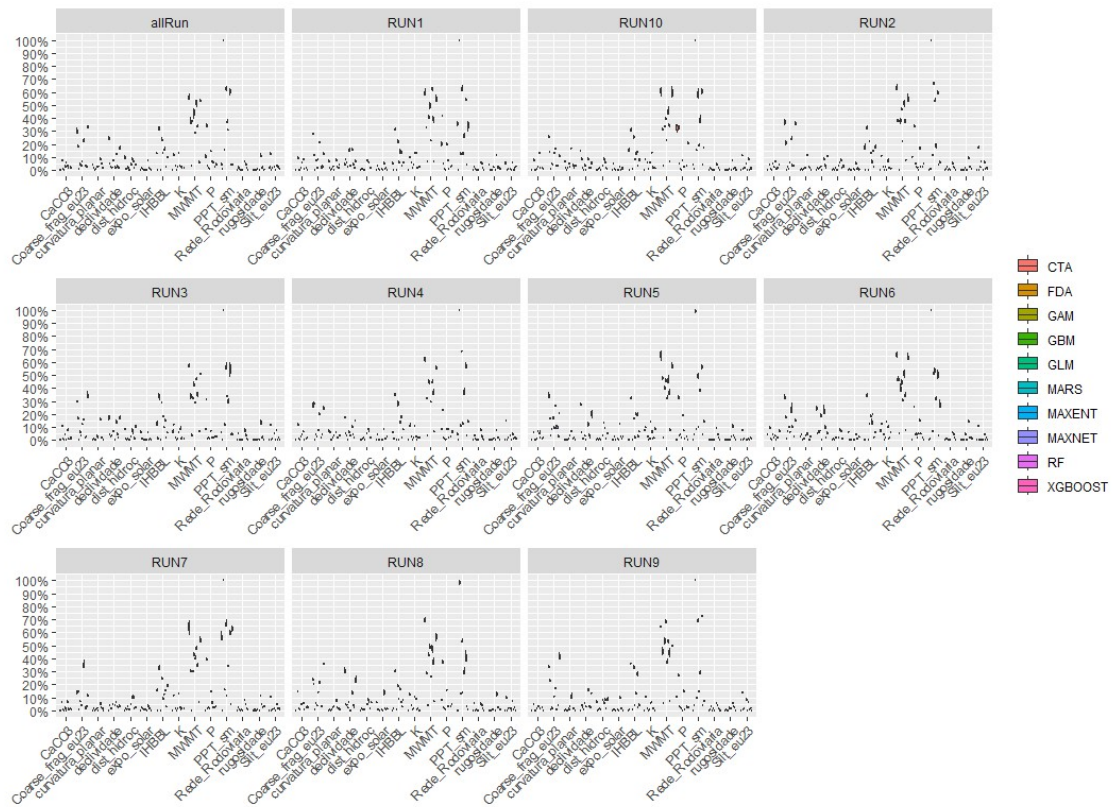
Anexo 8 – Importância de variáveis das Castas em simultâneo (Casta2 e Casta3)



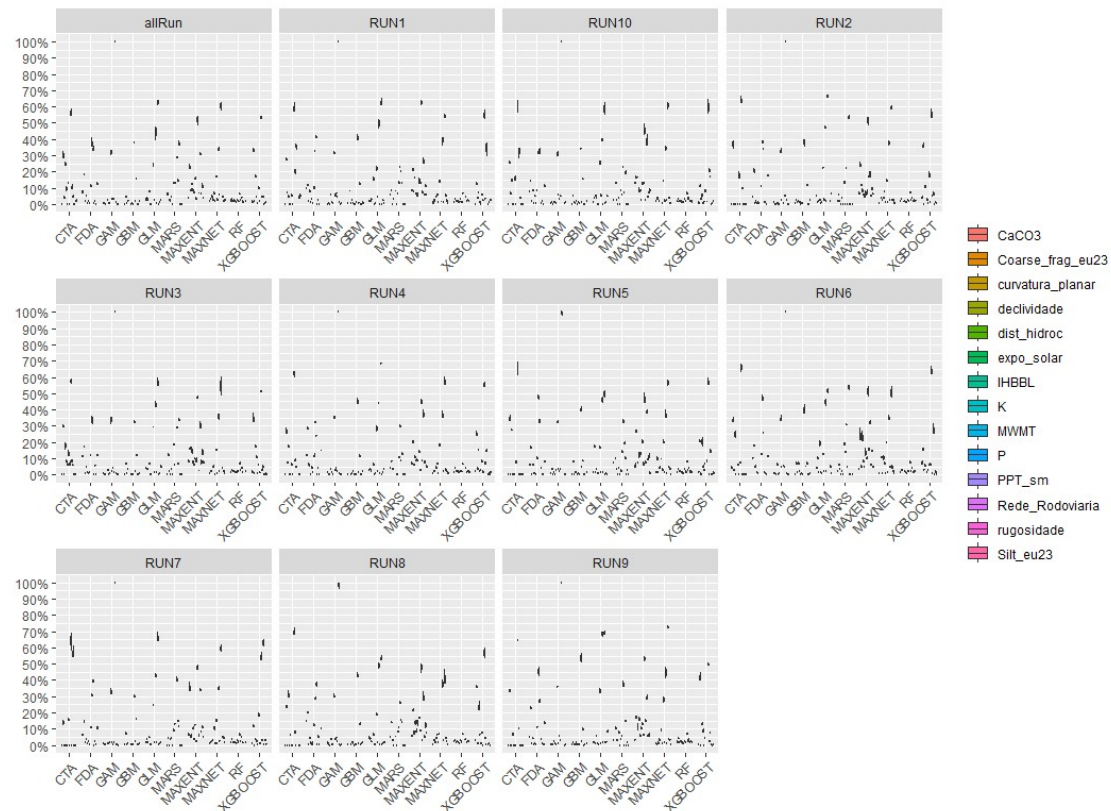
Anexo 9 – Importância de variáveis por classificador (Casta2 e Casta3)



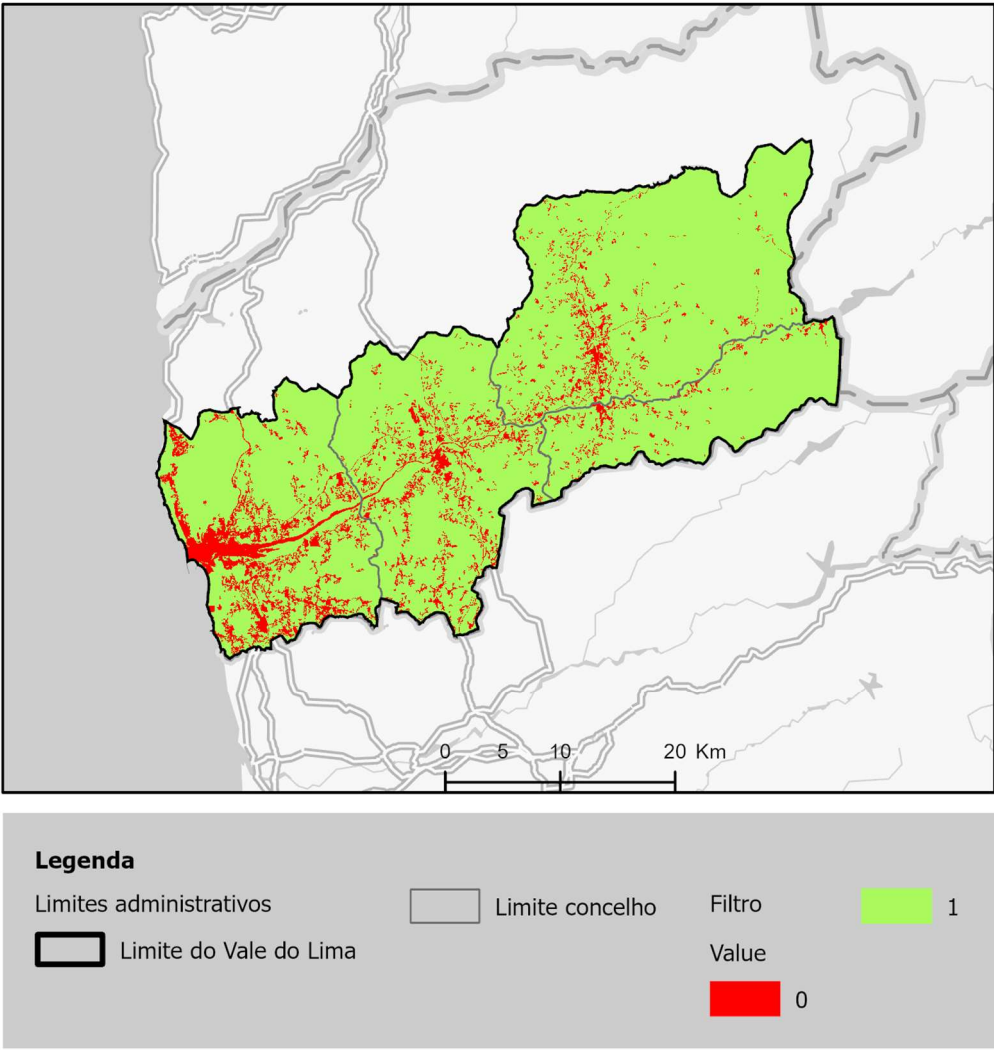
Anexo 10 – Análise da importância de variáveis por repetição Casta 2 e 3



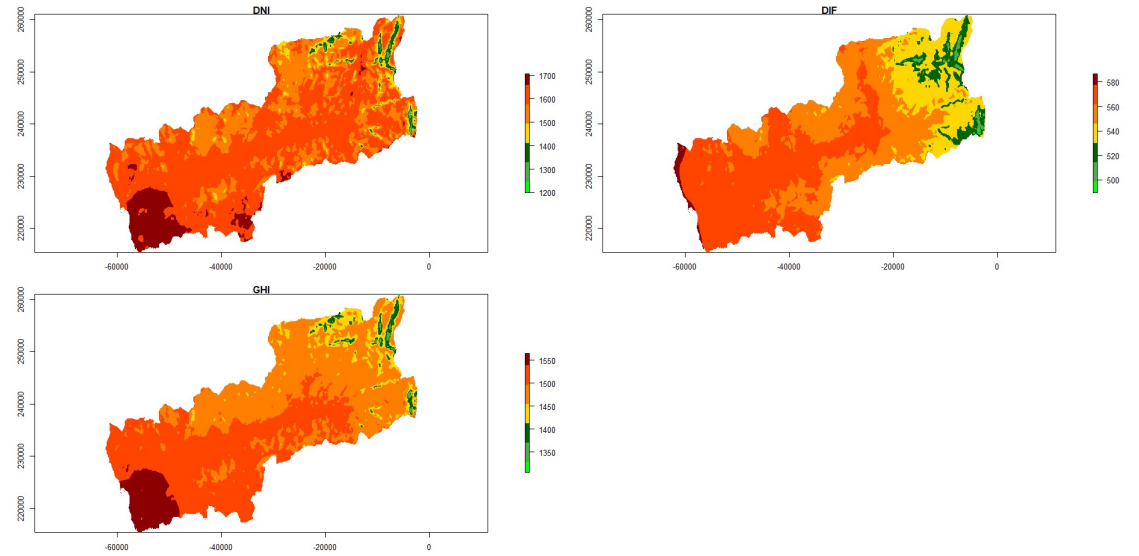
Anexo 11 – Análise da importância de classificadores por repetição Casta 2 e 3



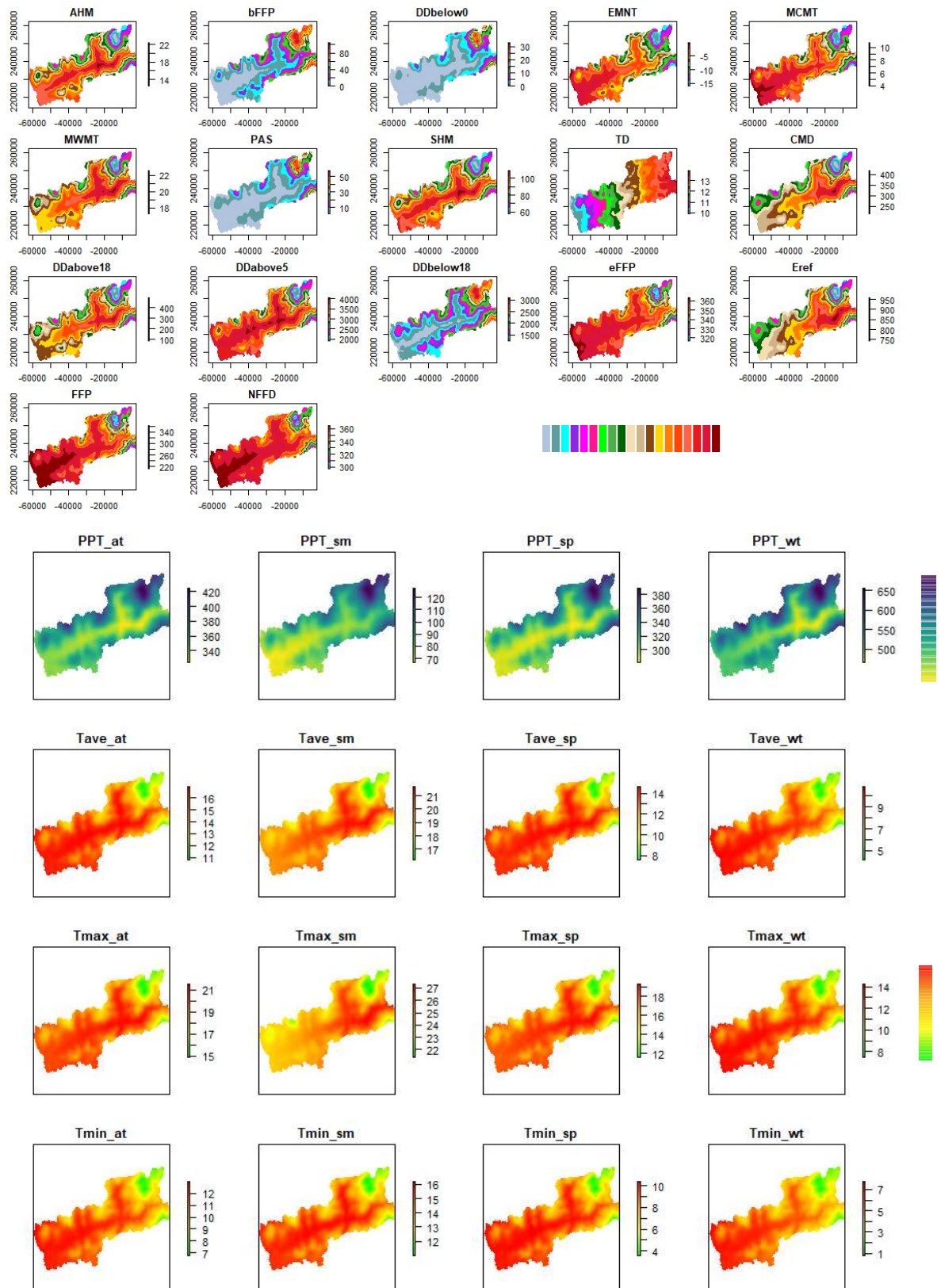
Anexo 12 – Filtro aplicado às classificações para remover locais edificados

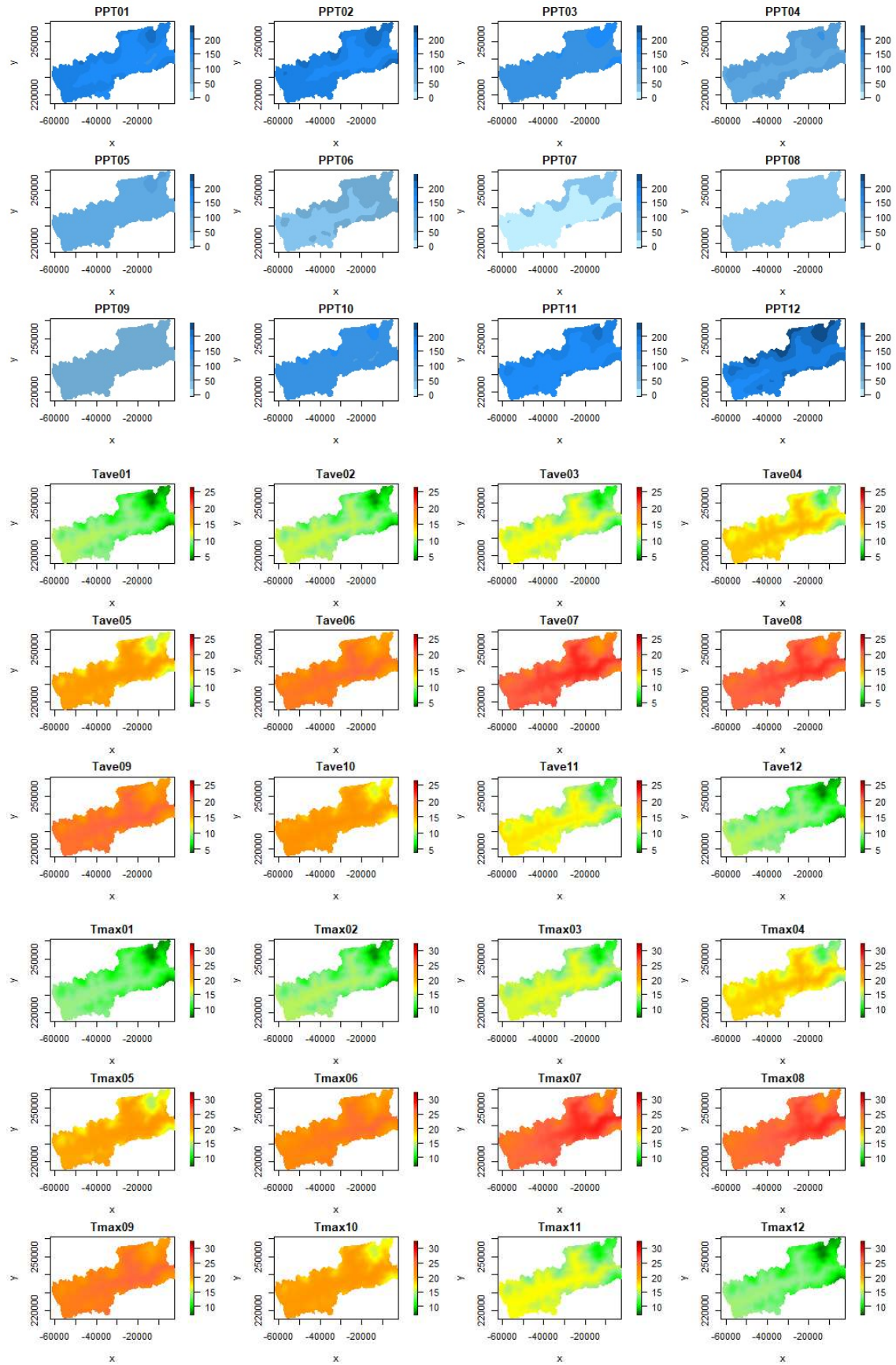


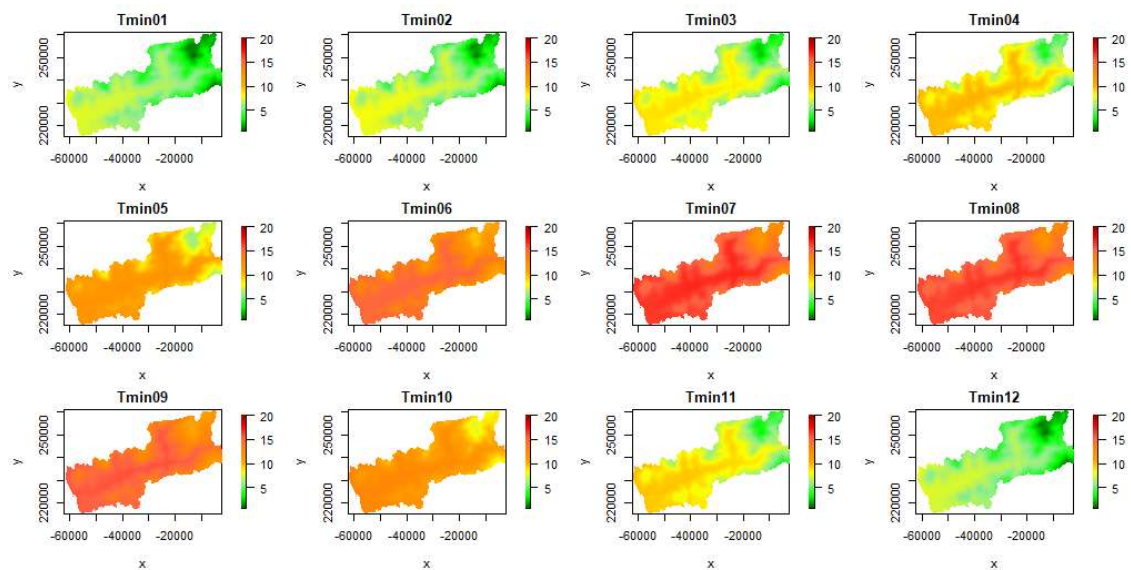
Anexo 13 – Variáveis da radiação solar



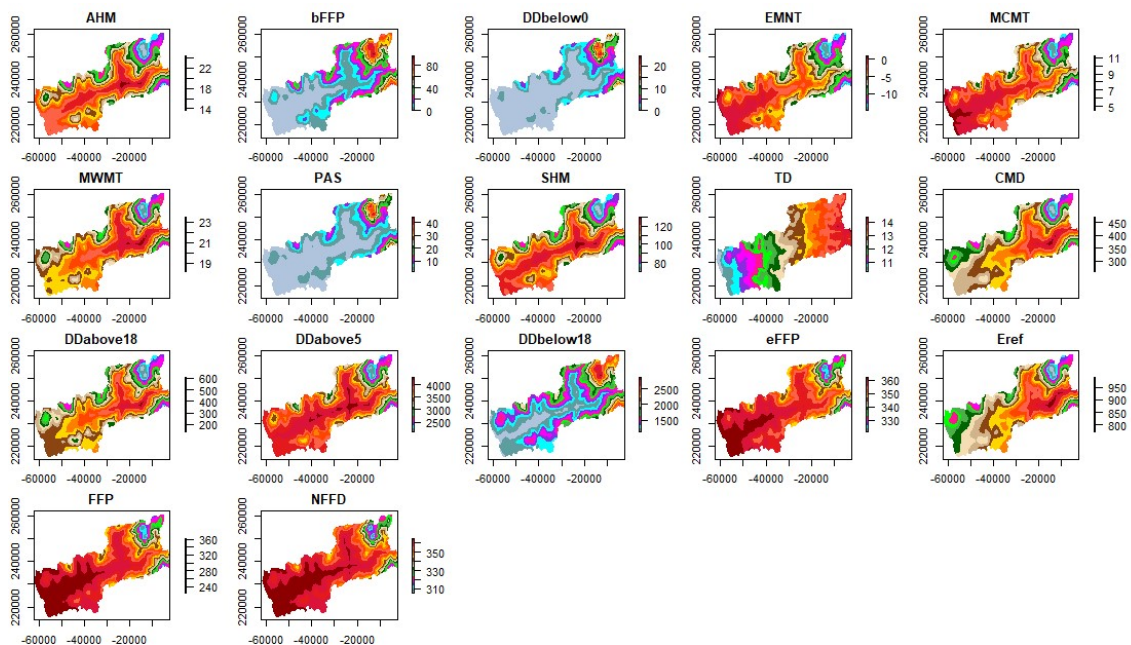
Anexo 14 – Variáveis climáticas do cenário referência

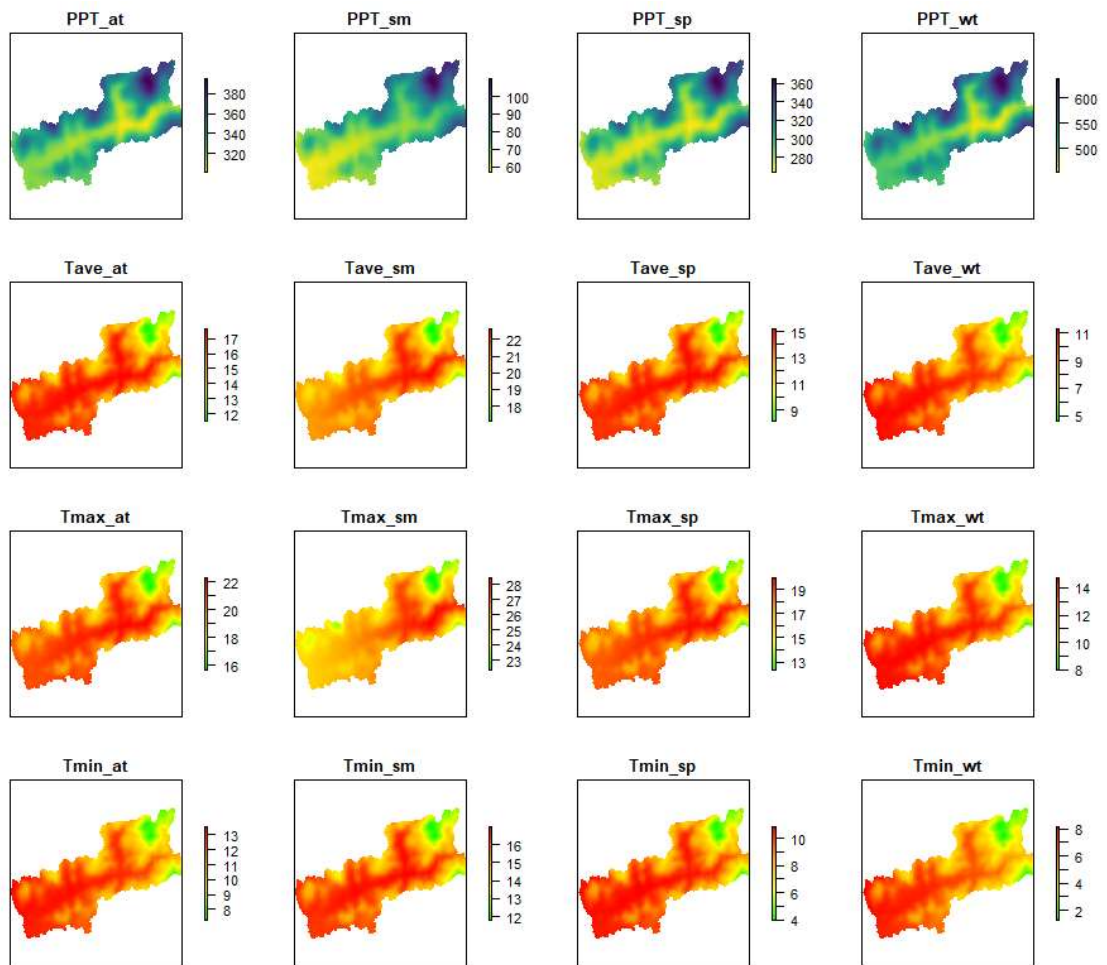


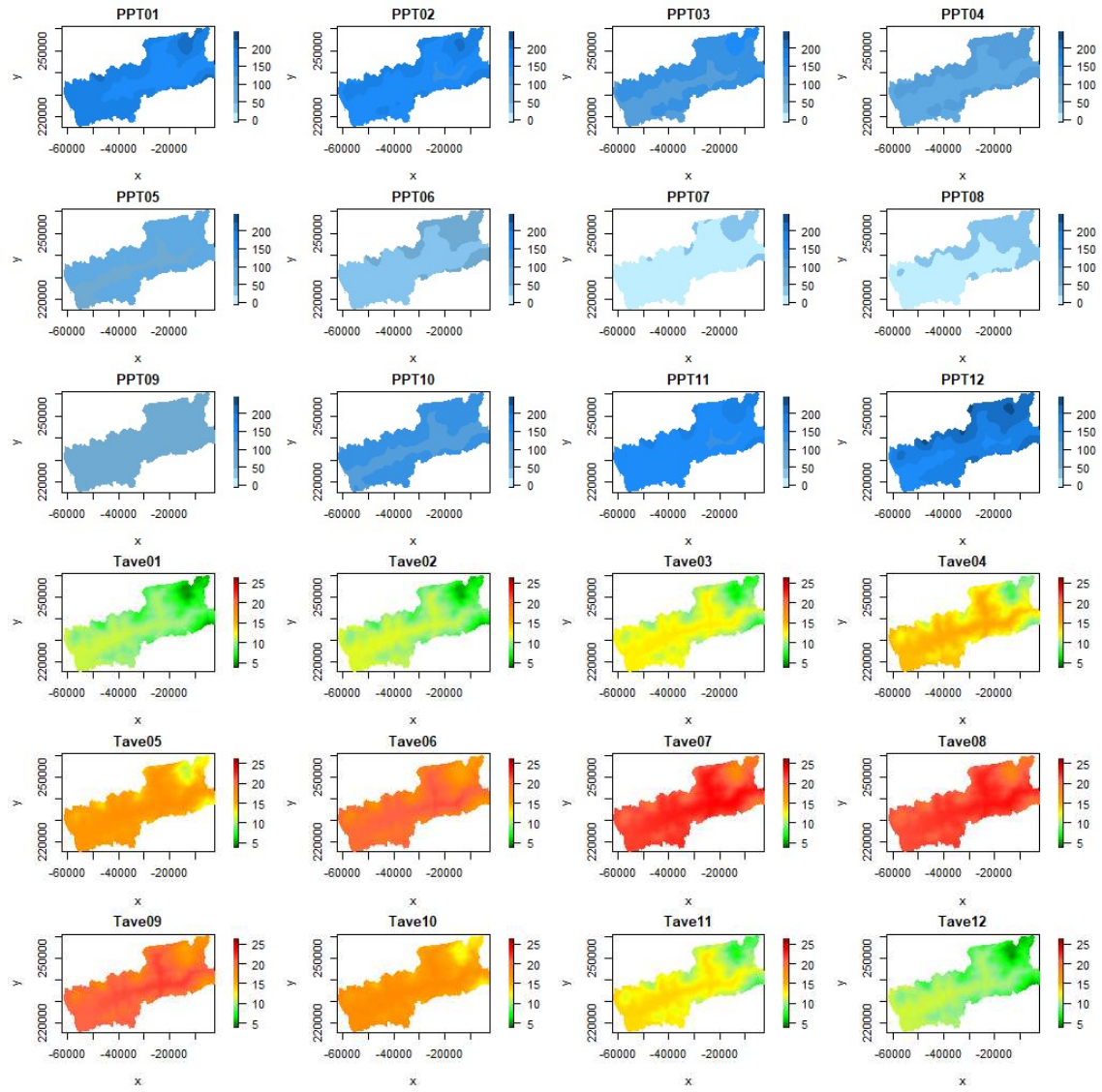


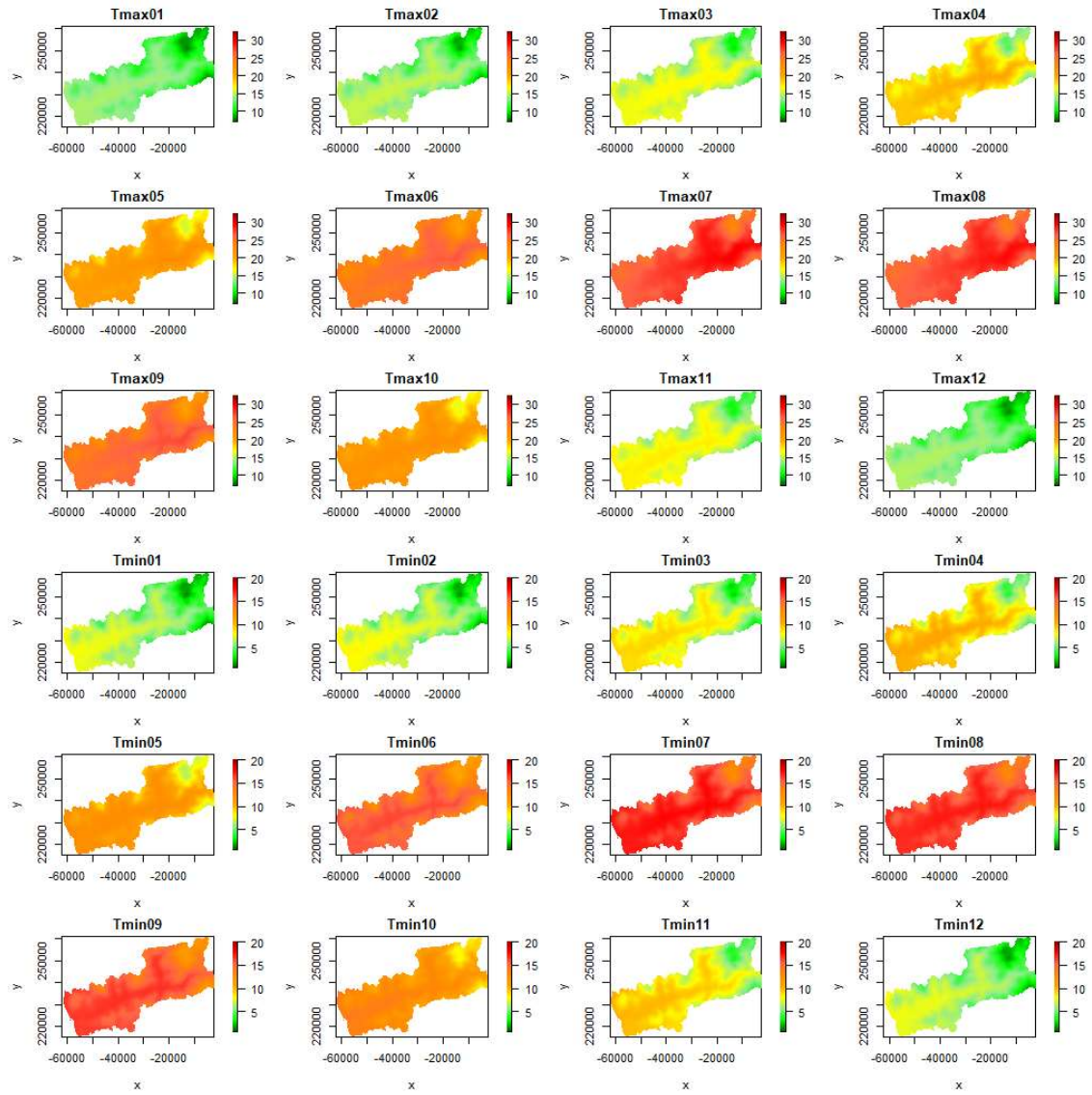


Anexo 15 – Variáveis climáticas do cenário RCP4.5 (50 anos)

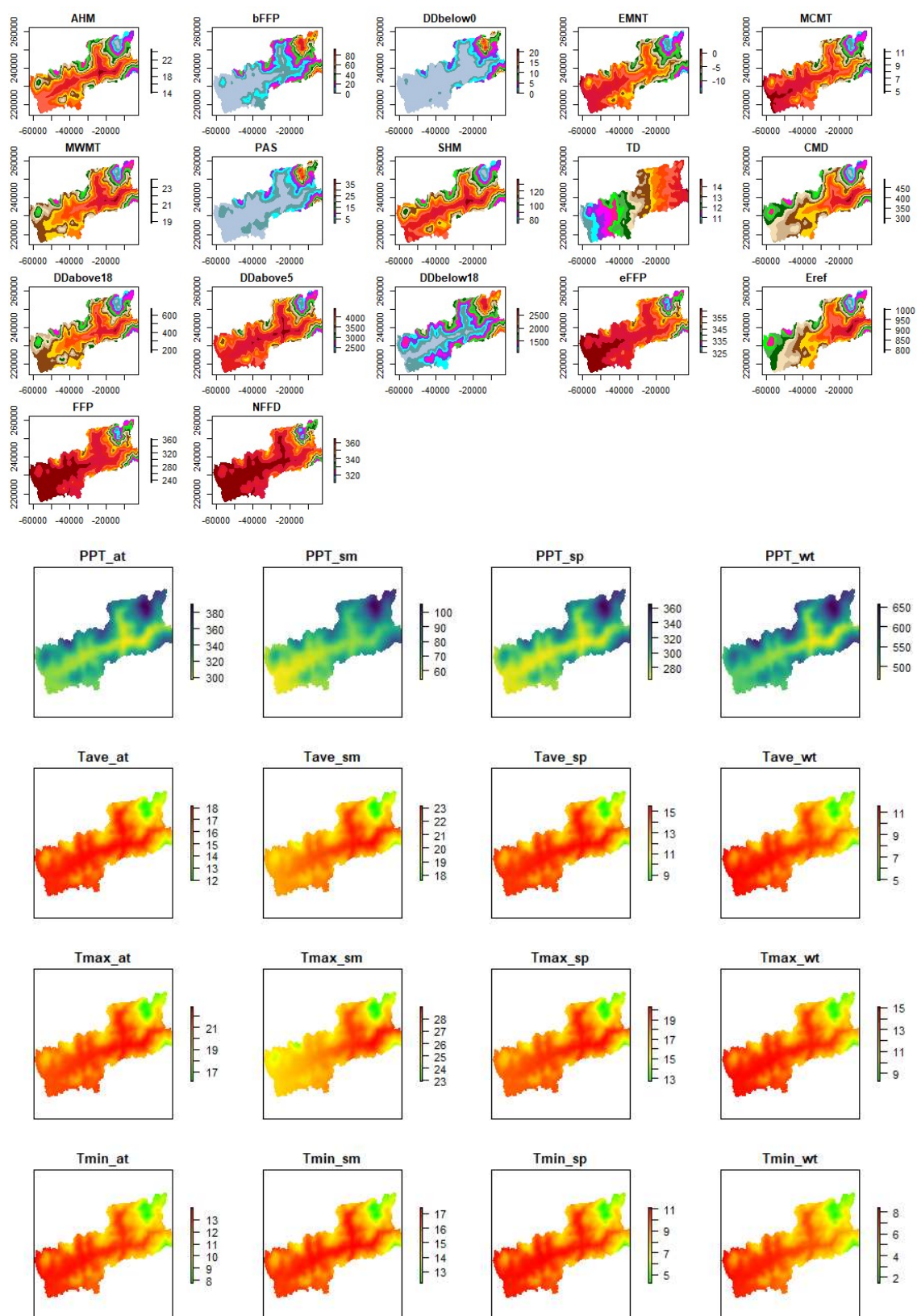


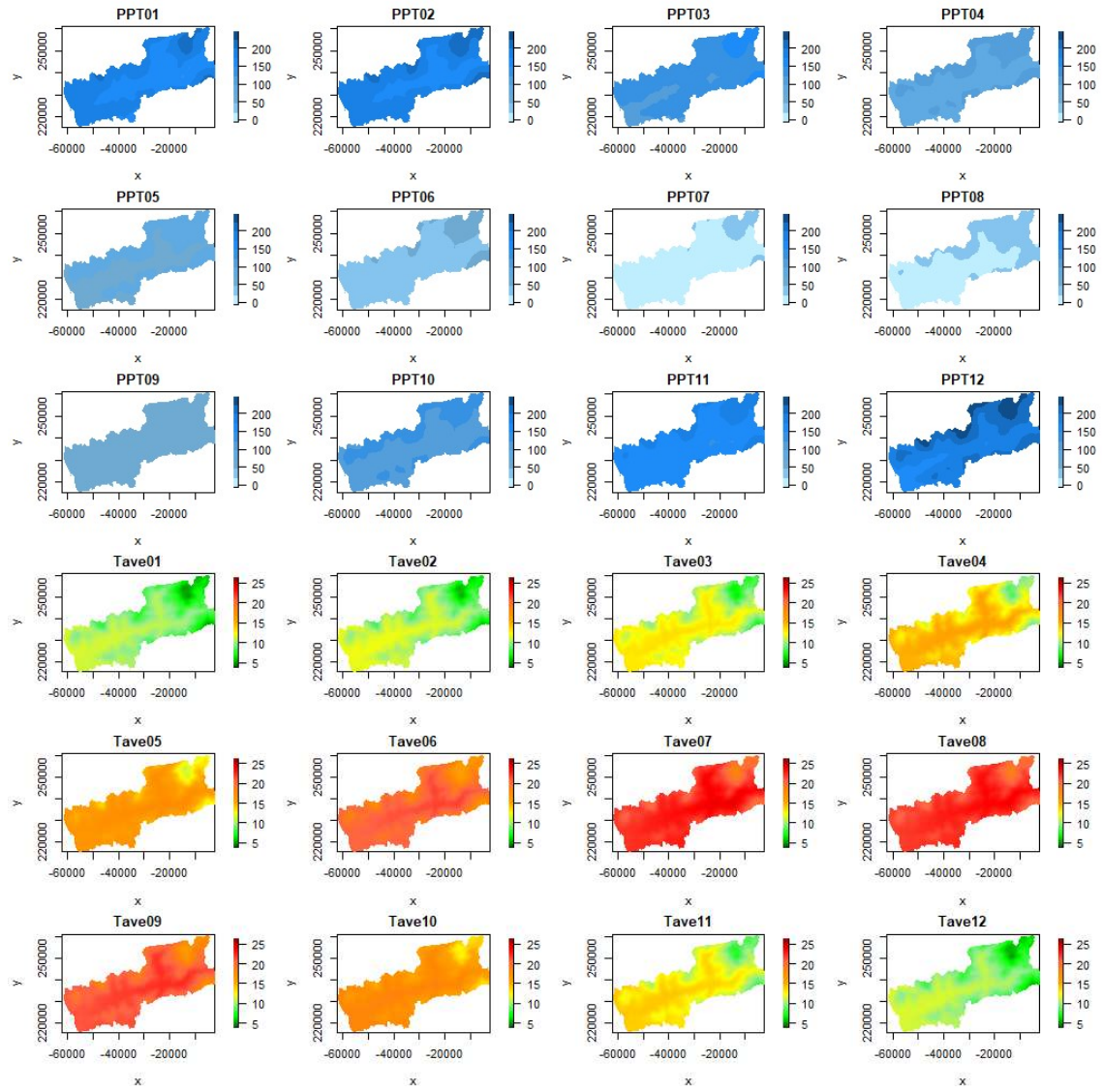


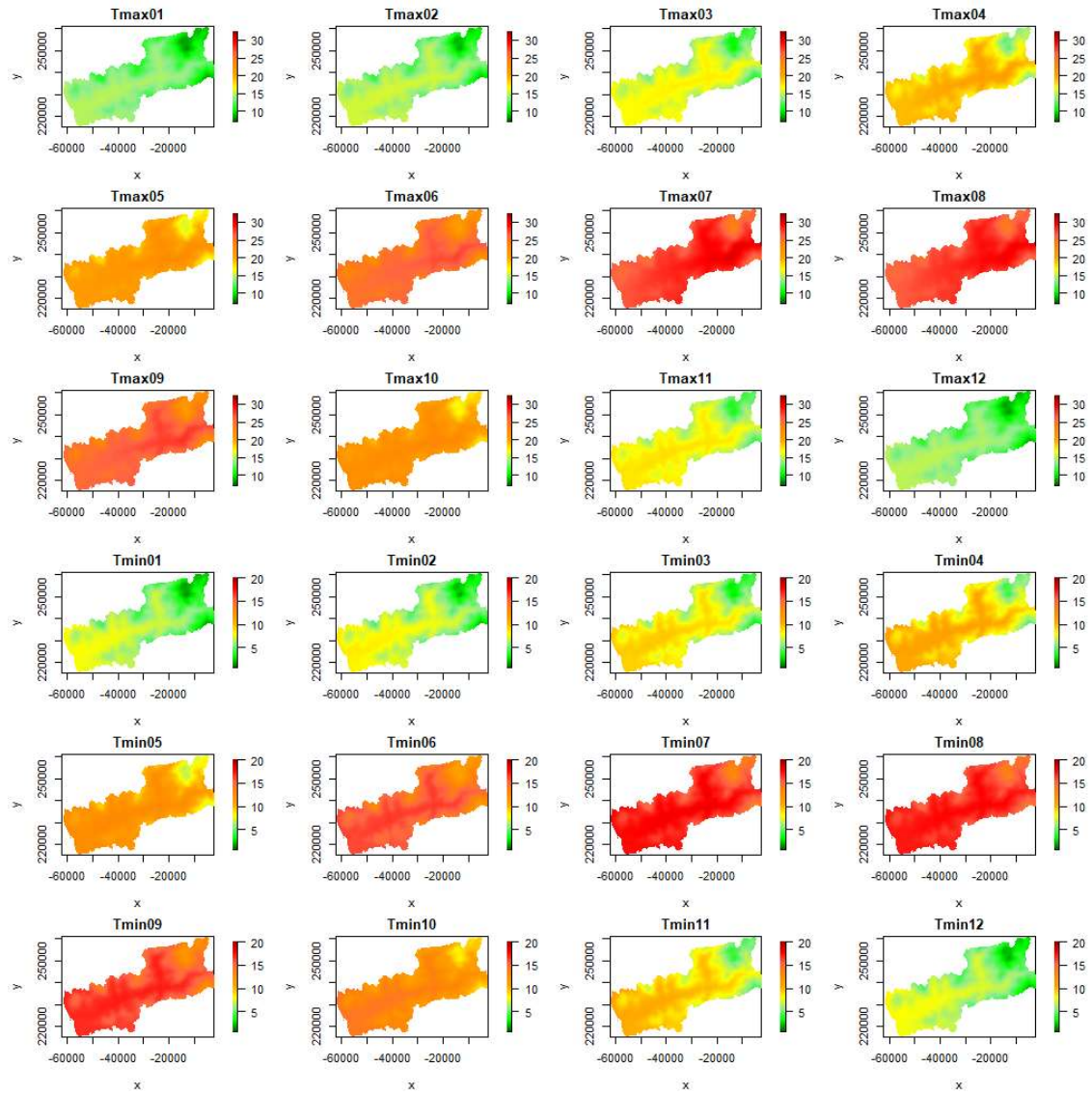




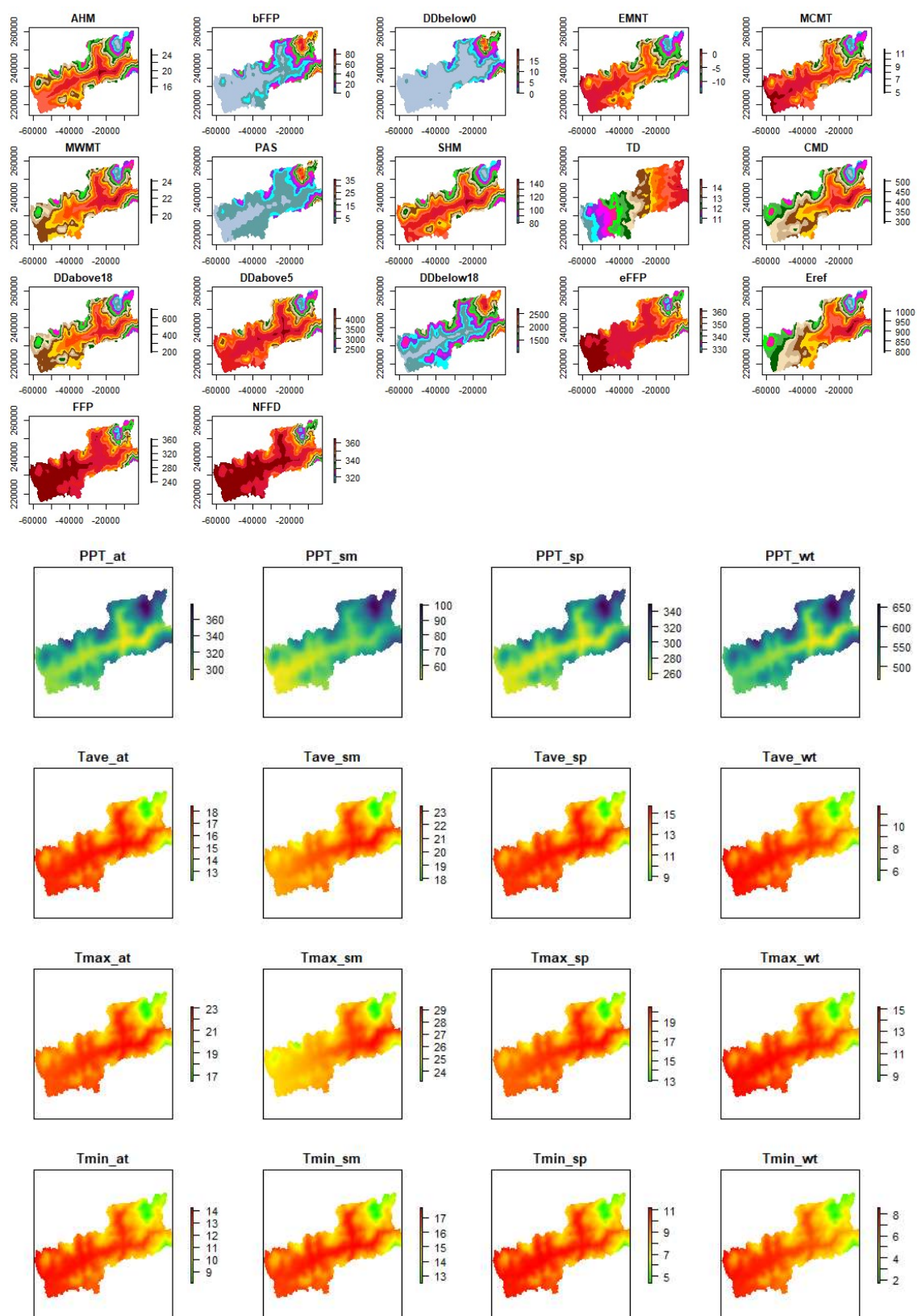
Anexo 16 – Variáveis climáticas do cenário RCP4.5 (80 anos)

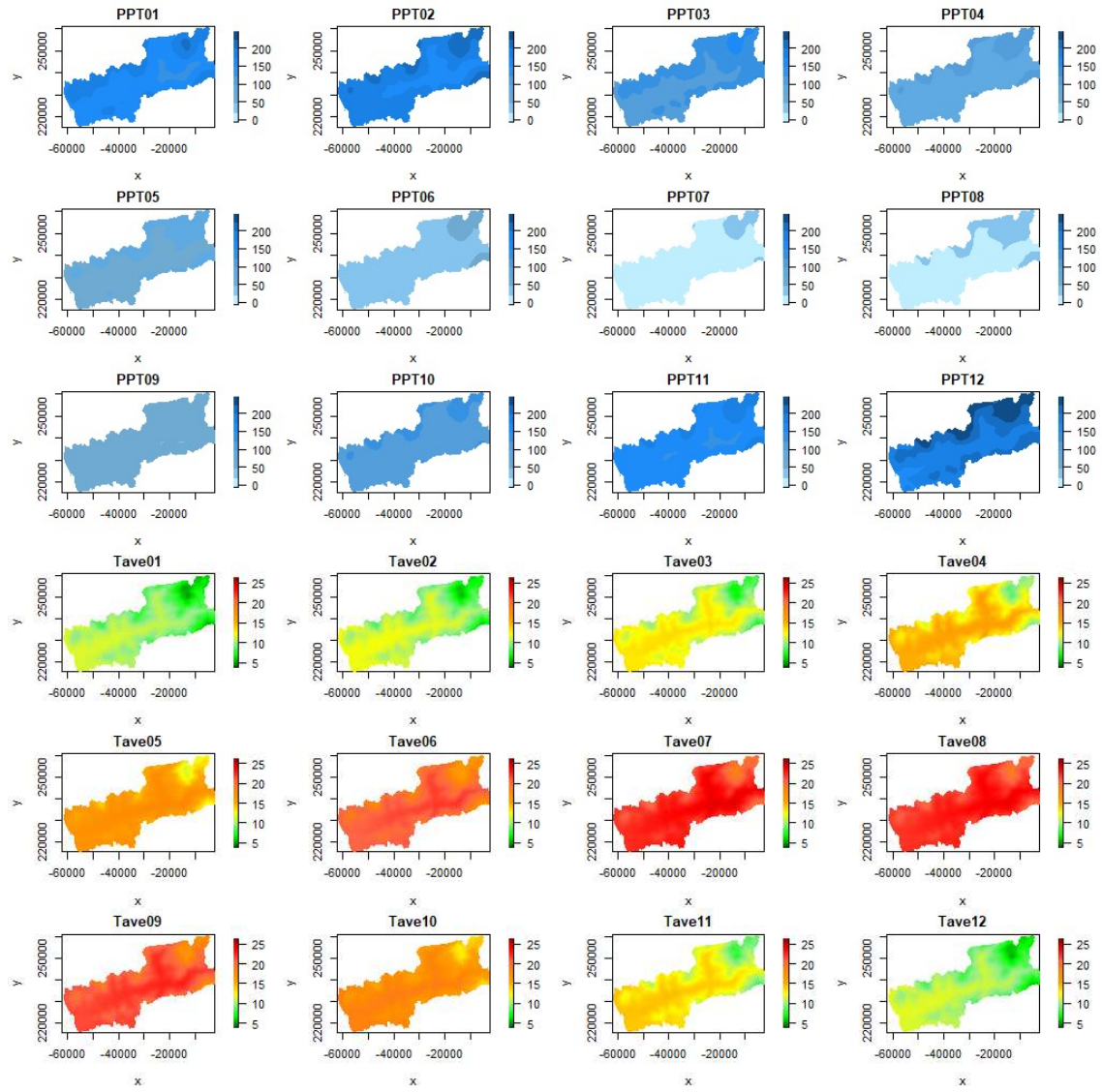


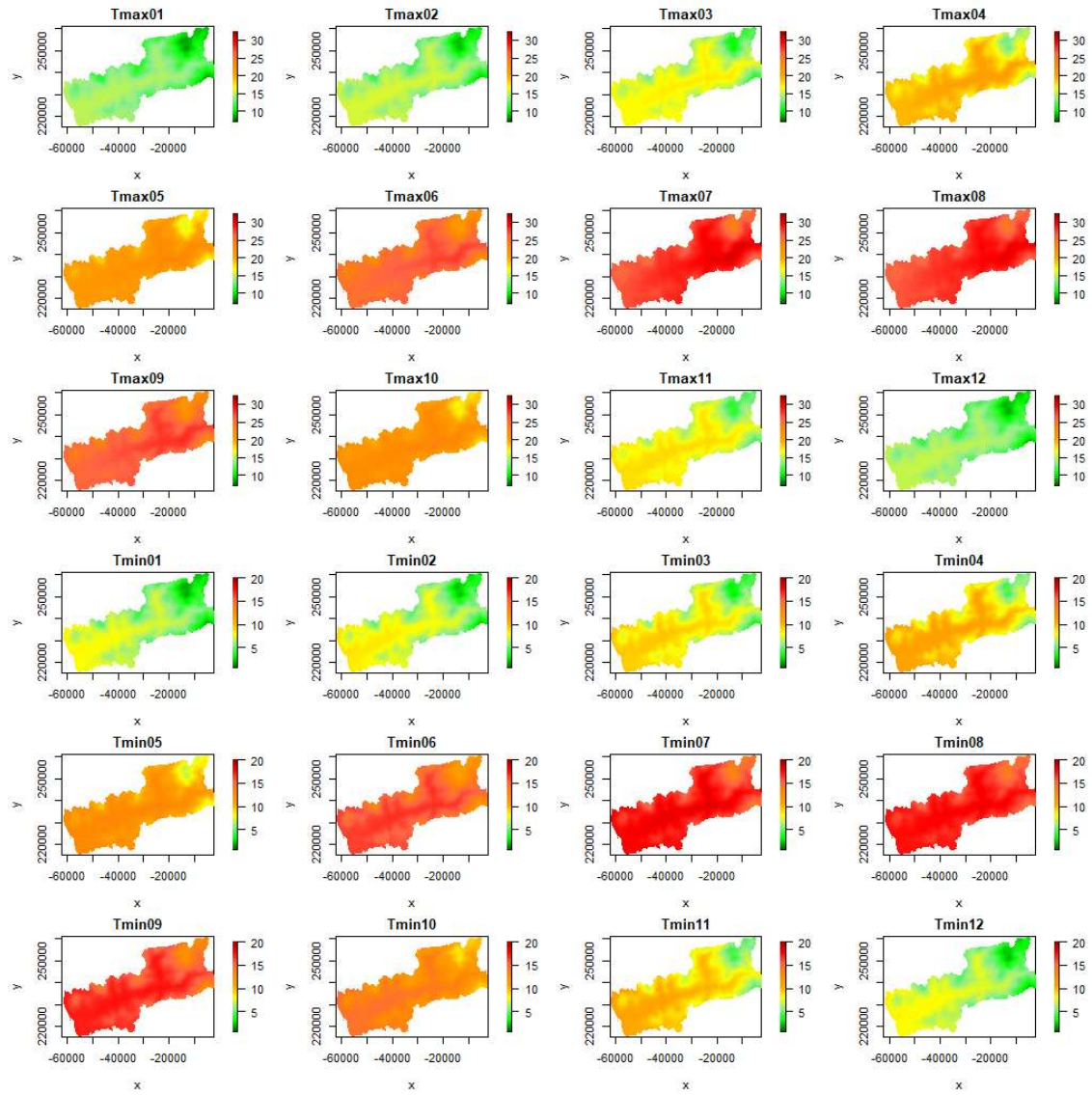




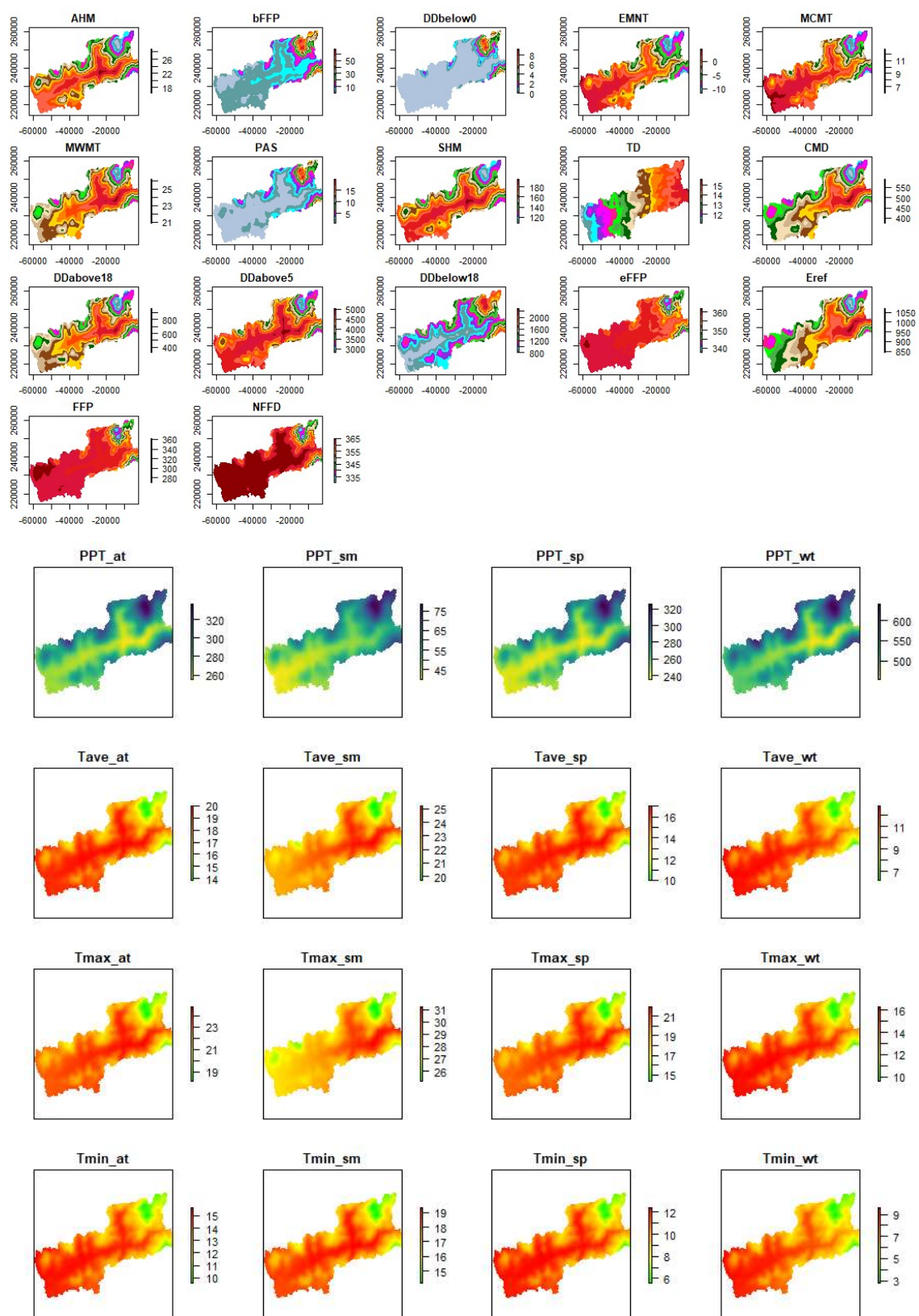
Anexo 17 – Variáveis climáticas do cenário RCP8.5 (50 anos)

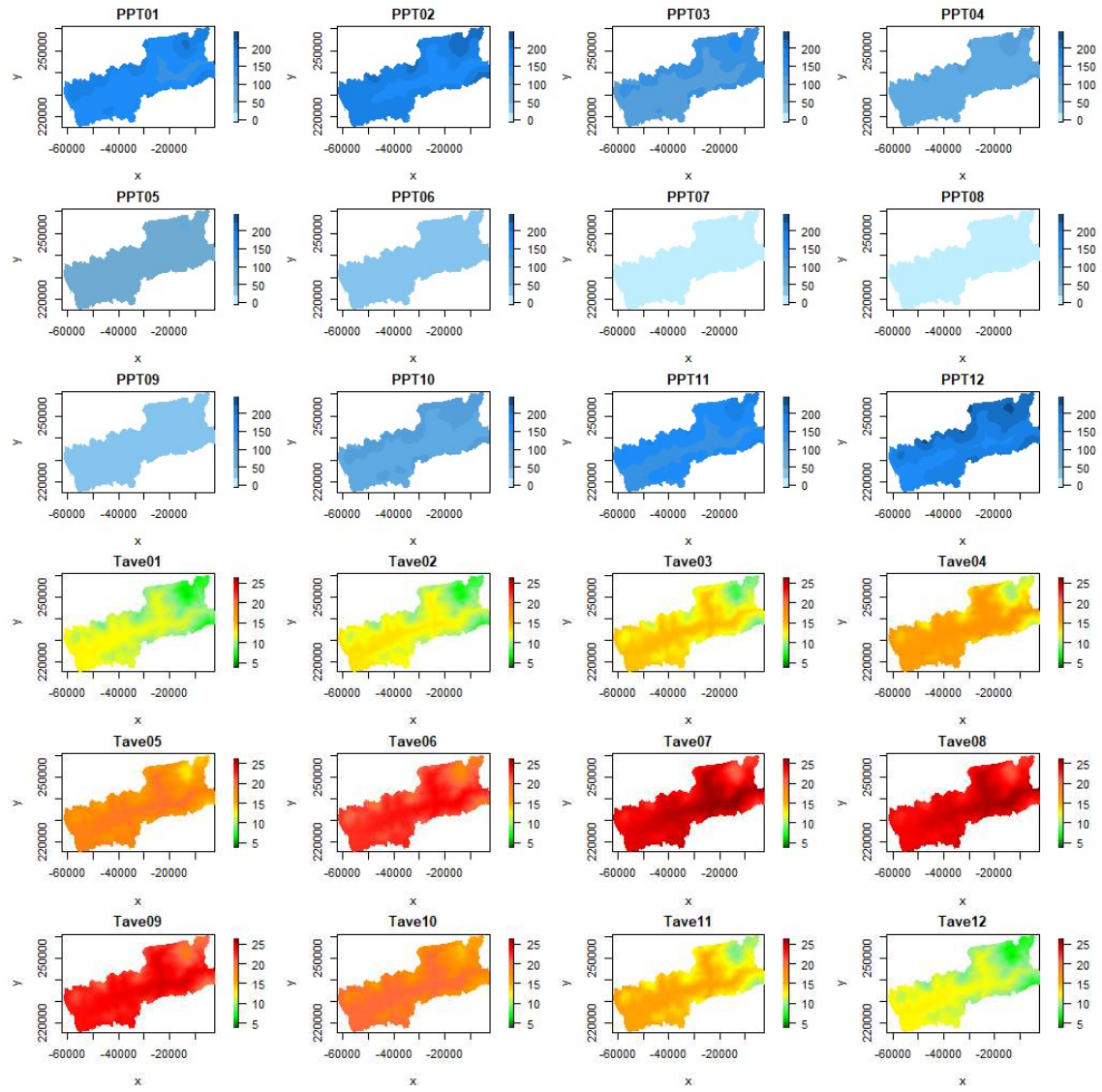


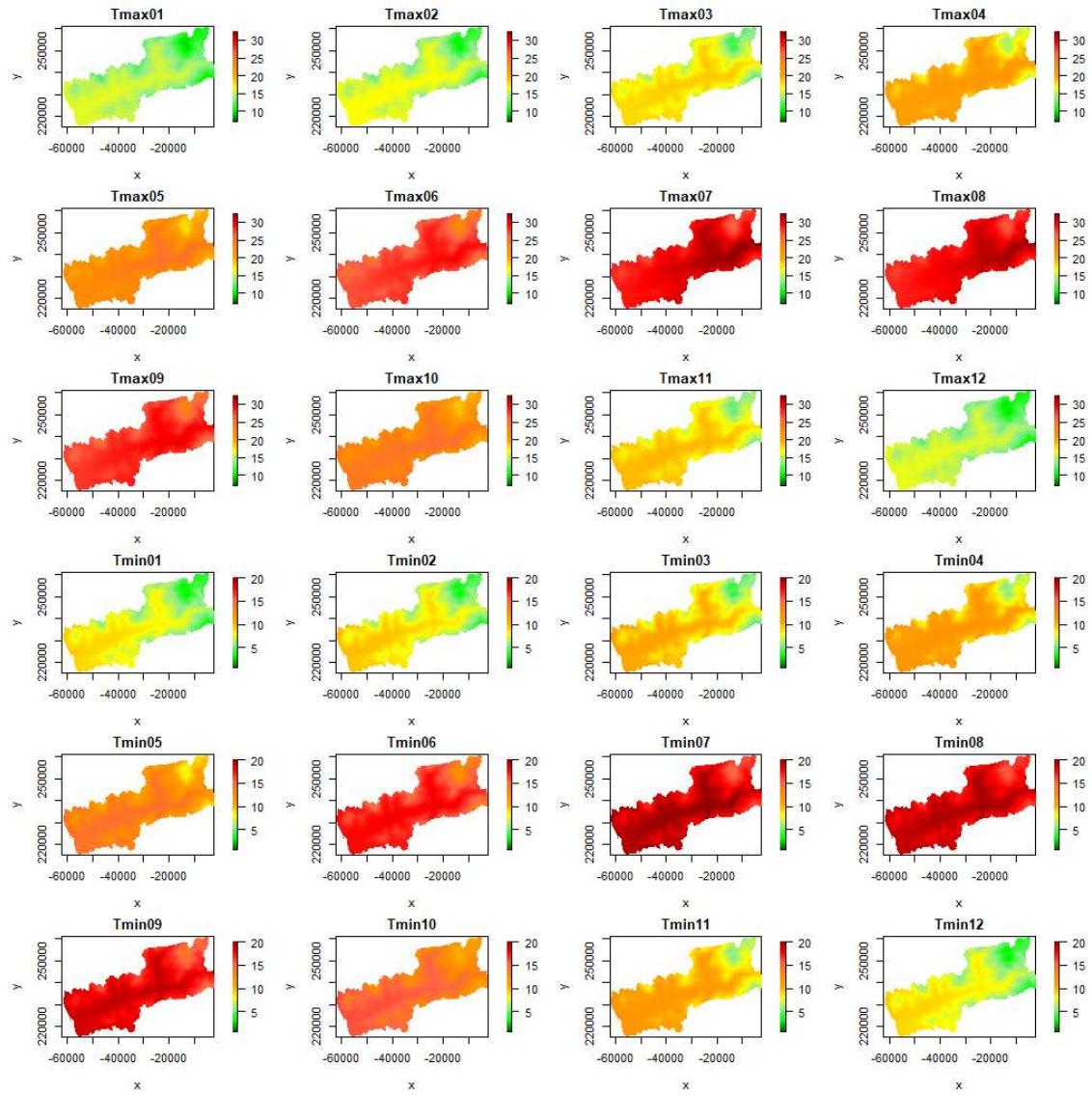




Anexo 18 – Variáveis climáticas do cenário RCP8.5 (80 anos)







Anexo 19 – Variáveis do solo

