



INSTITUTO POLITÉCNICO
DE VIANA DO CASTELO

Análise e modelação da ocupação e uso do solo

Caso de estudo da bacia hidrográfica do rio Vez



**INSTITUTO POLITÉCNICO
DE VIANA DO CASTELO**

Joana Alexandra Fernandes de Amorim

Análise e modelação da mudança da ocupação e uso do solo
Caso de estudo da bacia hidrográfica do rio Vez

Gestão Ambiental e Ordenamento do território
Área / Designação do Mestrado

Trabalho efetuado sob a orientação do
Joaquim Mamede Alonso
João Pradinho Honrado

Escola Superior Agraria de Ponte de Lima

AGRADECIMENTOS

Este trabalho representa um marco importante na minha vida académica e pessoal e que resulta de um esforço conjunto. Gostaria de expressar a minha sincera gratidão a todas as pessoas que partilharam comigo esta aventurada com momentos de angústia, de exaustão, felicidade e mais importante de superação e aprendizagem.

Ao Professor Joaquim Alonso, meu orientador, por todo o apoio, conhecimento, sugestões ajuda e disponibilidade ao longo do desenvolvimento deste trabalho.

Ao Professor Cláudio Paredes pela disponibilidade e ajuda em algumas fases deste trabalho.

Aos meus colegas de trabalho em especial a Ivone Martins, a Sónia Santos, ao Miguel Moreira e ao Tiago Barbosa pela simpatia, carinho e colaboração e ajuda ao longo deste trabalho.

A toda a minha família que me acompanhou e apoiou, em especial aos meus pais e irmã pelo apoio incondicional e pelas palavras nos momentos mais difíceis

Em especial ao Diogo Amorim, por todo o carinho, incentivo, apoio e a motivação para nunca desistir durante toda esta etapa.

E a todas as pessoas que contribuíram de alguma forma na concretização desta tese e que não estão aqui discriminadas.

Os meus sinceros agradecimentos.

RESUMO

A mudança da ocupação e uso do solo resultou em alterações da estrutura, funções e serviços da paisagem. A presente tese insere-se no âmbito do projeto IND_CHANGE, utiliza como caso de estudo a bacia hidrográfica do rio Vez, e apresenta como objetivos: i) a identificação e caracterização da dinâmica e dos padrões das mudanças na ocupação e uso do solo em dois períodos de tempo entre 1990 e 2012; ii) avaliação dos promotores da mudança e definição e análise comparativa de três cenários prospectivos de evolução da ocupação e uso do solo para 2020 através do modelo *Land Change Modeler* (LCM);

No período 1990-2012 verificou-se o decréscimo das áreas ocupadas com culturas anuais o que contribuiu para o aumento das categorias de carvalho, outras folhosas e ocupação arbustiva e herbácea. Esta mudança traduz o abandono da prática agrícola em resultado do êxodo rural. Outra importante mudança foi o aumento das áreas semi-naturais que resulta da conversão das áreas de pinheiro e carvalho devido aos sucessivos incêndios florestais, bem como as áreas artificiais devido à concentração da população nas áreas de vale e centralidades regionais.

A análise da predição da ocupação e uso do solo para 2020 demonstrou que as políticas e as atuais opções de gestão do território influenciam as futuras mudanças. Na continuidade das políticas atuais (cenário 1), as áreas agrícolas continuarão a diminuir e as áreas de eucalipto, outras folhosas e áreas sem ou com pouca vegetação irão aumentar. Se as medidas forem direcionadas para o povoamento e dinamização económica (cenário 2), é previsível um aumento das áreas de eucalipto direcionadas para os mercados e consequentemente uma diminuição das áreas semi-naturais. Já num cenário com políticas que levem ao abandono da produção agro-florestal e renaturalização do território (cenário 3) verificou-se essencialmente o aumento das áreas semi-naturais.

Palavras-chave: Bacia hidrográfica do rio Vez, mudança da ocupação e uso do solo, transição, promotores, predição de cenários, vulnerabilidade, modelação, *Land Change Modeler*, riscos.

ABSTRACT

The land cover and land use change resulted in changes in the structure, functions and landscape services. This thesis is developed under the scope of the IND_CHANGE project, and use as study area one of the pilot areas of the project: the river Vez watershed, with the following objectives: i) the identification and characterization of the dynamics and patterns of change in the occupation and land use in two time periods between 1990 and 2012; ii) assessment of the promoters of change and iii) definition and comparative analysis of three prospective scenarios for the evolution of occupation and land use for 2020 through the Land Change Modeler model (LCM);

In the period 1990-2012 there was a decrease in the areas planted with annual crops which contributed to the increase in oak categories, other broadleaves and shrubs and herbaceous occupation. This change reflects the abandonment of agricultural practice as a result of the rural exodus. Another important change was the increase in semi-natural areas, resulting from the conversion of pine and oak areas due to repeated forest fires, as well as artificial areas due to concentration of population in areas of valley and regional centrality.

The analysis of the prediction of land cover and land use for 2020 demonstrated that policy and land management today have direct influence on future changes. In continuation of current policies (scenario 1), agricultural areas will continue to decline and areas of eucalyptus and other broadleaves areas with little or no vegetation will increase. If the measures are addressed to the settlement and economic promotion (scenario 2), the expected changes are the increasing in the eucalyptus areas targeted for markets and consequently a decrease in semi-natural areas. Yet, in a scenario with policies that lead to the abandonment of agro-forestry production and renaturation of the territory (scenario 3), there was essentially the increase in semi-natural areas.

Keywords: river Vez watershed, land cover and land use change, Transition, drivers, prediction scenarios, vulnerability, Modeling, Land Change Modeler and risks.

LISTAS DE ABREVIATURAS

IGP – Instituto Geográfico Português

IgeoE – Instituto Geográfico do Exército

DGT – Direção-Geral do Território

IPVC – Instituto Politécnico de Viana do Castelo

APA – Agência Portuguesa do Ambiente

DRAEDM – Direção Regional de Agricultura de Entre Douro e Minho

IGM/DG/ME –

ICNF – Instituto da Conservação da Natureza e das Florestas

INE – Instituto Nacional de Estatística

AFN – Autoridade Florestal Nacional

IGBP – International Geosphere-Biosphere Programme

IHDP – International Human Dimensions Programme

PAC – Política Agrícola Comum

COS – Carta de Ocupação e Uso do Solo

CLC – CORINE *Land Cover*

Índice

AGRADECIMENTOS	i
RESUMO	iii
ABSTRACT	v
LISTAS DE ABREVIATURAS	vii
1 INTRODUÇÃO	1
2 ANÁLISE E MODELAÇÃO DA OCUPAÇÃO E USO DO SOLO	3
2.1 Os conceitos e a cartografia de ocupação e uso do solo	3
2.2 Conceito de mudança de ocupação e uso do solo	4
2.3 Importância e relação da ocupação do solo à escala global e à escala local	6
2.4 A importância do conhecimento da distribuição e evolução do solo	8
2.5 A produção de cartografia de ocupação e uso do solo (fotointerpretação e classificação digital)	9
2.6 As questões da qualidade nas séries temporais de ocupação e uso do solo	11
2.7 Limitações das atuais formas de cartografia de ocupação e uso do solo	13
3 ANÁLISE E MODELAÇÃO DA MUDANÇA DA OCUPAÇÃO E USO DO SOLO EM SISTEMAS SOCIO-ECOLÓGICOS À ESCALA LOCAL	15
3.1 A análise de mudança pelas matrizes de transição, cadeias de markov e autómatos celulares	16
3.2 Identificação dos drivers/promotores de alteração desde as escalas globais à escala local	19
3.3 A relação entre ocupação/uso do solo e serviços ambientais	29
3.4 A relação entre ocupação/uso do solo e os riscos	32
4 METODOLOGIA	39
4.1 O projeto IND_CHANGE	39
4.2 Apresentação e descrição da informação base	40
4.3 Análise da mudança da ocupação e uso do solo	41
4.4 Predição da mudança da ocupação e uso do solo pelo modelo <i>Land Change Modeler</i> (LCM)	42
5 ANÁLISE DE RESULTADOS	55
5.1 Caracterização da bacia hidrográfica do rio Vez	55
5.1.1 Enquadramento	55
5.1.2 Caracterização do meio físico	56
5.1.3 Caracterização Climática	57
5.1.4 Geologia, pedologia e aptidão do solo	60
5.1.5 Os espaços de proteção ambiental e figuras de ordenamento do território ...	63
5.1.6 Caracterização socioeconómica	64
5.2 Distribuição e evolução da ocupação e uso do solo	67
5.2.1 Meios semi-naturais	73
5.2.2 Áreas florestais	74
5.2.3 Áreas agrícolas	76
5.2.4 Áreas urbanas	79
5.3 Análise dos cenários de prospectiva de ocupação e uso do solo	81

5.3.1	Cenário 1 - Continuidade	82
5.3.2	Cenário 2 - Povoamento e dinamização económica.....	84
5.3.3	Cenário 3 - abandono e renaturalização	87
6	CONCLUSÕES	89
7	BIBLIOGRAFIA	93
8	ANEXOS	103
A I.	Variação da População residente.....	104
A II.	Número da população agrícola no ano de 1989, 1990 e 2009 nas freguesias abrangidas pela bacia hidrográfica do rio vez	105
A III.	Faixa etária dos produtores agrícolas da bacia hidrográfica do rio Vez (Fonte: INE).....	106
A IV.	Número do efetivo animal da bacia hidrográfica do rio vez	106
A V.	Descrição da classificação utilizada na legenda das cartas de ocupação e uso do solo de 1990, 2000 e 2012.....	107
A VI.	Matriz de transição das categorias de ocupação e uso do solo entre 1990 e 2000	108
A VII.	Matriz de transição das categorias de ocupação e uso do solo entre 2000 e 2012.....	108
A VIII.	Matriz de transição (%) das classes de ocupação e uso do solo entre 2000 e 2012.....	109
A IX.	Matriz de transição (%) das classes de ocupação e uso do solo entre 2000 e 2012.....	111

Índice de Figuras

Figura 2.1- Dinâmica entre a escala local, regional e global.....	7
Figura 2.2 – Escala temporal dos processos que afetam a mudança da paisagem (adaptado de Marcucci, 2000).	12
Figura 3.1 – Uma estrutura metodológica integrada para avaliar sistemas do solo no passado, presente e futuro (fonte: Rounsevell et al., 2012).	16
Figura 3.2 – Sistema com os promotores da alteração da ocupação do solo. (Adaptado de Lambin et al., 2006).	21
Figura 3.3 – Relação e a força das ligações entre as categorias de serviços dos ecossistemas e a sua influência sobre as componentes do bem-estar humano (Adaptado de Millennium Ecosystem Assessment, 2005a).	30
Figura 3.4 – Processos de regulação de fluxo que controla o movimento da água da água da chuva através do solo, e como ele é afetado pelas mudanças na cobertura do solo mais propriamente mas que adapta as várias impermeabilizações do solo (setas escuras = movimento da água líquida; as setas claras = vapor de água; a largura da seta é proporcional ao volume do fluxo de água) (Adaptado Le Maitre et al., 2014).	34
Figura 3.5 – Hidrogramas de inundação que mostram respostas típicas de escoamento de uma bacia num período de chuva. A bacia hidrográfica com uma forte regulação do fluxo (a) é caracterizada por um menor pico de cheia e mais tardia, e com um escoamento mais lento do que uma bacia com fraca regulação de fluxo (b). O escoamento máximo é a componente da água da chuva que atinge a corrente após minutos ou horas da precipitação, enquanto o escoamento base é o fluxo que continua entre os eventos de precipitação e é sustentado pela água armazenada no solo, que é maior numa bacia com boa regulação do fluxo pela bacia (Le Maitre et al., 2014).	35
Figura 4.1 – Organização da linha de análise da mudança da ocupação do solo. Adaptado de Clark Labs, 2009.	42
Figura 4.2 – Metodologia para validação do modelo de <i>Land Change Modeler</i> para Bacia hidrográfica do rio Vez. (Adaptado Eastman, 2012).	44
Figura 4.3 – Metodologia utilizada na modelação da previsão da ocupação do solo para o ano de 2020 (Eastman, 2012).	45
Figura 4.4 – Esquema do funcionamento da modelação da transição dos submodelos pelo método <i>Multi-layer perceptron</i> (MLP). (Adaptado de Marinelli, 2010).	51
Figura 5.1 – Enquadramento geográfico da área de estudo.	56
Figura 5.2 – Carta de declives (%) e exposição solar para bacia do rio Vez.	57
Figura 5.3 – Zonas climáticas homogéneas em função da precipitação média anual (mm) e da temperatura média anual (°C) (Carta de Solos e Aptidão da Terra do Região do Entre-Douro e Minho).	59
Figura 5.4 – Insolação média anual e humidade relativa média anual da bacia hidrográfica do rio Vez.	60
Figura 5.5 – Carta geológica da bacia hidrográfica do rio Vez.	61

Figura 5.6 – Classificação dos solos e da aptidão agrícola e florestal da bacia hidrográfica do rio Vez.	63
Figura 5.7 – Figuras de proteção e ordenamento da bacia hidrográfica do rio Vez.....	64
Figura 5.8 – Pirâmide etária da população residente (nº) da bacia hidrográfica do rio Vez para o ano 2001 (esquerda) e 2011 (direita). Fonte: INE, Recenseamento da População e Habitação.....	65
Figura 5.9 – Mapa de Ocupação e Uso do Solo de 1990 (COS'90).	69
Figura 5.10 – Mapa de Ocupação e Uso do Solo 2012 (COS'00).	70
Figura 5.11 – Mapa de Ocupação e Uso do solo de 2012 (COS12).	71
Figura 5.12 – Dimensão (%) das categorias de ocupação do solo para os anos 1990, 2000 e 2012.....	72
Figura 5.13 – Evolução da ocupação e uso do solo (%) entre 1990, 2000 e 2012.....	73
Figura 5.14 – Distribuição geográfica das mudanças das categorias referentes a área florestal entre o ano 1990 e 2000 e entre o ano 2000 e 2012.....	76
Figura 5.15 – Distribuição geográfica das mudanças das categorias das áreas agrícolas entre o ano 1990 e 2000 (esquerda) e entre 2000 e 2012 (direita).	78
Figura 5.16 – Distribuição na bacia hidrográfica do rio Vez das áreas urbanas em 1990 e as novas áreas que surgiram em 2000 e 2012.....	79
Figura 5.17 – Variação (%) relativamente a área de estudo entre 1990-2000 e entre 2000-2012 das categorias de ocupação do solo (COS).	80
Figura 5.18 – Projeção das transições potenciais para 2020.	82
Figura 5.19 – Cenário preditivo da Ocupação e Uso do solo para ocupação do solo	83
Figura 5.20 – Predição da ocupação e uso do solo para 2020 segundo um cenário de povoamento e dinamização do território (cenário 2).	86
Figura 5.21 – Projeção das transições potenciais para 2020 para o cenário 3-abandono e renaturalização.	88

Índice de Tabelas

Tabela 4.1 – Informação base utilizada na realização deste trabalho.....	40
Tabela 4.2 – Estruturas das matrizes de transição. Adaptado de Marinelli, 2010).	47
Tabela 4.3 – Variáveis utilizadas na modelação dos cenários de mudança da ocupação e uso do solo.....	48
Tabela 4.4 – Classificação da carta de declives para bacia hidrográfica do rio Vez.....	49
Tabela 4.5 – Classificação do modelo digital do terreno.	49
Tabela 4.6 – Temperatura média anual e altitude das zonas climáticas da bacia hidrográfica do rio Vez.	49
Tabela 4.7 – Variáveis dos modelos de transição potencial na previsão da ocupação do solo para 2020.	52
Tabela 5.1 – Matriz de transição das categoriais de ocupação e uso do solo entre a 1990 e 2000 (%).	80
Tabela 5.2 – Matriz de transição das categoriais de ocupação e uso do solo entre a 2000 e 2012 (%).	81
Tabela 5.3 – Resultado dos cenários para ocupação e uso do solo para 2020 (hectares). ...	84

1 INTRODUÇÃO

A vida humana sempre foi sustentada pelo ambiente. Desde da antiguidade, a humanidade alterou as paisagens na tentativa de melhorar a quantidade, qualidade e segurança dos recursos naturais essenciais ao seu bem-estar, tais como alimentos, água doce, fibras e medicamentos (Lambin et al., 2006). O Homem aumentou a sua capacidade de obter recursos do meio ambiente e de expandir o seu território (Lambin et al., 2006), modificando e transformando as paisagens de acordo com suas necessidades e capacidades através do incremento da inovação e tecnologia ao longo do tempo (Lambin et al., 2006; Stellmes et al., 2013). O Homem experimentou três fases distintas de inovação: o controlo do fogo, domesticação de animais, o uso de combustíveis fósseis, o sedentarismo e a agricultura (Lambin et al., 2006). Esta contínua inovação permitiu o aumento da utilização e modificação dos recursos naturais. De acordo com um estudo, cerca de 36% da área bioprodutiva da Terra está inteiramente ocupado pelo homem, 37% está parcialmente perturbado, e apenas cerca de 27% do solo não está perturbado (Hannah et al., 1994 citado por Haberl et al., 2004). Contudo, outro estudo chega à conclusão que 83% da superfície terrestre está sob influência direta do Homem (Sanderson et al., 2002).

A recente aceleração da mudança da ocupação e uso do solo, juntamente com um aumento da população global, resultou em alterações da paisagem sem precedentes e com diversas consequências. A mudança rápida da ocupação e uso do solo é reconhecida como um dos principais fatores da alteração e declínio dos ecossistemas e das condições ambientais, com consequências a vários níveis e para o próprio Homem (Clerici et al., 2014; Stellmes et al., 2013). Esta mudança rápida é a principal fonte de degradação do solo, da mudança climática local e global e pelo aquecimento global do planeta. Tais mudanças também determinam em parte a vulnerabilidade de lugares e pessoas, da economia e das políticas bem como o aumento da suscetibilidade aos riscos ambientais (Lambin et al., 2001).

Segundo Marcucci (2000) as paisagens são uma combinação única de características físicas, culturais e locais. São como heranças, uma paisagem atual resulta das condições e eventos locais anteriores, e sucede-se que as paisagens do futuro serão legados dos elementos e processos que ocorrem atualmente. Para compreender a paisagem é necessário estudá-la como um todo tornando-se num desafio para quem tem a árdua tarefa de planear e gerir a paisagem, mas esta visão contribui para a sua viabilidade da paisagem a curto e longo prazo (Marcucci, 2000). Para apoiar os decisores nesta tarefa existem vastas técnicas

de modelação aplicadas as mudanças que ocorrem na mudança da ocupação e uso do solo e que podem ser usadas neste contexto para dois propósitos principais: a projeção de alterações de paisagens futuras em diferentes cenários (modelos preditivos) e para explicar a relação entre os padrões de paisagem e as forças motrizes (modelos exploratório) (Marcucci, 2000).

O presente estudo está inserido no âmbito do projeto IND_CHANGE e centra-se na bacia hidrográfica do rio Vez que está inserida na região hidrográfica do Minho e Lima, na zona norte de Portugal. Especificamente, os objetivos deste trabalho foram a:

- i. identificação e caracterização da dinâmica e dos padrões das mudanças na ocupação e uso do solo na bacia hidrográfica do rio Vez em dois períodos de tempo, entre 1990 e 2012 através de matrizes de transição;
- ii. identificação dos principais promotores de alteração da ocupação e uso do solo;
- iii. definição de três potenciais cenários de ocupação e uso do solo para 2020 e análise das mudanças ocorridas através do modelo *Land Change Modeler* (LCM);
- iv. e resumo das consequências mais significativas da mudança em relação à dinâmica e ao futuro da paisagem.

2 ANÁLISE E MODELAÇÃO DA OCUPAÇÃO E USO DO SOLO

2.1 Os conceitos e a cartografia de ocupação e uso do solo

Para analisar e modelar a ocupação e uso do solo é importante compreender estes dois conceitos que embora semelhantes, não têm o mesmo significado. A ocupação e uso do solo são frequentemente usados como sinónimos em muitos estudos, programas de pesquisa e relatórios. Apesar do uso do solo ser o principal determinante da ocupação do solo, já que constitui a interface entre as atividades humanas e o solo, são conceitos distintos (Comber et al., 2008; Malczewski, 2004; Meyer e Turner, 1996; Verburg et al., 2009).

A ocupação do solo denota os atributos biofísicos da superfície do solo (Lambin et al., 2001), abordando a camada de solo e de biomassa que inclui a vegetação da superfície do solo, a água, os materiais do solo, asfalto, as culturas e as estruturas humanas na superfície do solo, entre outros. Logo a ocupação do solo resume-se ao estado biofísico da superfície do solo e as estruturas construídas pelo homem (Malczewski, 2004; Meyer e Turner, 1996; Verburg et al., 2009).

O uso do solo descreve o propósito humano ou intenção aplicada aos atributos biofísicos do solo (Lambin et al., 2001), ou seja, é uma interpretação socioeconómica que descreve como as pessoas utilizam e as atividades que executam na superfície do solo (Comber et al., 2008; Straume, 2014) e tem sido uma preocupação principalmente de cientistas sociais: os economistas, geógrafos, antropólogos, urbanistas, entre outros (Robson e Berkes, 2011; Weber e Hall, 2001). O uso do solo é a forma como as características biofísicas do solo são manipuladas e alteradas em função do uso que o Homem pretende dar ao solo, quer seja para produções agrícolas, pecuárias, zonas urbanas, recreio ou para extração e processamento de materiais (Meyer e Turner, 1996)¹.

A relação entre o uso e ocupação do solo é complexa e não pode ser diretamente inferida a partir de dados de deteção remota, embora muitas vezes seja feito (Comber et al., 2008). A ocupação e uso do solo são duas áreas de estudo distintas e como tal em termos práticos

¹ Além disso, o termo uso do solo pode ter diferentes conotações dependendo da escala espacial. Em grandes escalas é normalmente considerado como um recurso e, consequentemente, o uso do solo significa o uso de recursos. Em contraste, na escala urbana é caracterizada em termos do uso potencial da superfície do solo para o posicionamento de várias atividades humanas (Fernandes, 2006).

também possuem finalidades distintas. As informações sobre a ocupação do solo são utilizadas para o desenvolvimento de modelos físicos ambientais enquanto as informações sobre o uso do solo são essenciais para fins de política e planejamento (Comber et al., 2008). Um único uso do solo pode corresponder apenas a uma única classe de ocupação do solo, como por exemplo o pastoreio de pastagens não melhoradas. Por outro lado, um sistema único de uso do solo pode envolver a gestão de diversas ocupações distintas como ocorre em certos sistemas agrícolas, que combinam solos cultivados, floresta e pastagens (Meyer e Turner, 1996). Assim como uma ocupação do solo pode ter muitos usos, como por exemplo a ocupação com erva, que pode ocorrer em diferentes usos do solo: campos desportivos, parques urbanos, terrenos residenciais, pastagens, entre outros. (Comber et al., 2008). A mudança no uso do solo é suscetível de causar alguma mudança na ocupação do solo, mas a ocupação pode mudar mesmo que o uso do solo permaneça inalterado, como é o caso da exploração de uma floresta que diminui progressivamente se a taxa de extração de madeira ou agricultura for mantida (Meyer e Turner, 1996).

2.2 Conceito de mudança de ocupação e uso do solo

Por muitos séculos as mudanças no solo foram graduais e com impactos apenas locais. Com a industrialização, particularmente na segunda metade do século 20, a mudança da ocupação e uso do solo aumentou drasticamente e a paisagem sofreu transformações bruscas e em grande escala (Calvo-Iglesias et al., 2009). Esta mudança drástica resultou das mudanças demográficas e sociais, associadas as altas taxas de crescimento populacional e intensificação do uso do solo (Falcucci et al., 2007).

A transformação do solo é reconhecida como um dos principais fatores do declínio das condições ambientais globais e da diminuição da biodiversidade (Clerici et al., 2014) sendo o Homem um dos principais impulsionadores da mudança da ocupação e uso do solo (Bakker e Van Doorn, 2009; Rickebusch et al., 2011). A importância destes processos, especialmente nos países tropicais em desenvolvimento e com elevada biodiversidade, alertou as entidades internacionais para este problema (Newman et al., 2014). Durante as duas últimas décadas, vários programas de pesquisa interdisciplinares internacionais foram iniciados para analisar a intensidade da mudança da ocupação e uso do solo. Estes incluem o *International Geosphere-Biosphere Programme* (IGBP) e o *International Human Dimensions Programme* (IHDP). Ambos os programas apontam a necessidade de construir uma base de dados atualizada e precisa sobre essas mudanças, o seu significado, o ritmo e

os fatores explicativos desta mudança. Enquanto isso, o IGBP e o IHDP lançaram um projeto designado por *Land Use/Cover Change* (LUCC) em 1995, que desde então é um assunto avançado e atualizado na pesquisa global da mudança do ambiente (Guan et al., 2011)

A mudança ad ocupação e uso do solo é um tema tão lato e complexo que é fundamental compreender e contextualizar o significado do conceito de mudança e o que pode ser considerado mudança. A este conceito está sempre implícita uma dimensão espacial, temporal e escalar. Geralmente corresponde a uma determinada fase de desenvolvimento socioeconómico e precisa ser analisada no âmbito da interação Homem-ambiente. A mudança da paisagem ocorre quando ao longo do tempo, o fluxo de energia e consequentemente movimentação de materiais na paisagem resulta numa nova estrutura e em novas características funcionais (Thorne, 1993 citado por Marcucci, 2000). Existem dois tipos de mudanças ambientais globais resultantes das atividades humanas. Um tipo de mudanças afeta a biosfera, especialmente a atmosfera e os oceanos, e os seus ciclos biogeoquímicos globais e são denominadas por mudanças sistémicas. O outro tipo de mudança global resume um conjunto de alterações ambientais que ocorrem de modo difuso no espaço, mas que agregadas são capazes de provocar mudanças globais. São designadas de mudanças cumulativas das quais o principal exemplo são as mudanças na ocupação e uso do solo. O Homem pode contribuir com um dos dois tipos de mudanças ou até com ambos ao mesmo tempo (Alves, 2004).

Segundo Briassoulis (2000), a mudança da ocupação e uso do solo designa, em termos quantitativos, as mudanças nas dimensões de área (aumentos ou diminuições) de um dado uso ou ocupação do solo. Ainda é de salientar que a deteção e medição da mudança dependem da escala espacial. As mudanças da ocupação e uso do solo podem não ser expressivas a uma escala pequena, enquanto em escalas maiores podem-se verificar mudanças muito significativas.

Segundo Meyer e Turner (1996) e Briassoulis (2000), a mudança do uso do solo envolve uma alteração para um uso diferente ou uma intensificação do já existente, que pode condicionar a ocupação do solo através da conversão ou da modificação. A conversão é a mudança de uma classe de ocupação do solo para outra, por exemplo de pastagem para vinha. A modificação é uma mudança de estado dentro de uma categoria de ocupação do solo, ou seja, ocorre uma modificação das suas condições quantitativas, estrutura ou

função, mas sem que haja uma completa conversão como por exemplo a alteração na intensidade do uso por exemplo. O desaparecimento de uma floresta é considerado conversão enquanto a alteração da sua composição sem existir uma total mudança para outro tipo de ocupação é apenas uma modificação. No caso do uso do solo pela agricultura, as modificações das qualidades tipológicas podem ser ao nível da intensificação, extensificação, marginalização ou mesmo abandono (Meyer e Turner, 1996).

A detecção da mudança é o processo de identificar diferenças no estado de um objeto ou fenómeno por observação em momentos diferentes (Singh, 1989). No estudo da existência e/ou medição da mudança é fundamental ter a consciência que por vezes a mudança pode acontecer mas devido as limitações associadas aos métodos de análise estas podem passar despercebidas, especialmente quando as mudanças ocorrem durante dois ou mais períodos de tempo diferentes. A mudança da ocupação e uso do solo quando é avaliada em períodos de tempo curtos, as mudanças repentinas na resposta a causas naturais ou humanas podem ser confundidas com uma mudança gradual ao longo de grandes períodos. Da mesma forma, as causas associadas com as alterações súbitas podem ser perdidas quando são avaliadas em análises de grandes períodos de tempo (Mendoza et al., 2011)

2.3 Importância e relação da ocupação do solo à escala global e à escala local

A paisagem e o Homem são elementos dinâmicos e interativos e que alteram ao longo do tempo e do espaço tornando as escalas da paisagem interligadas das quais é definir uma barreira de separação entre elas (Figura 2.1). A natureza biofísica e as atividades humanas determinam eventos locais muito particulares que contribuem para formas de ocupação e uso do solo muito díspares no território. Com a globalização os promotores distantes ao local da mudança da ocupação e uso do solo ganharam maior importância muito devido ao aumento da acessibilidade a bens e serviços através dos mercados internacionais e ao aumento da mobilidade das pessoas no território (Meyfroidt et al., 2013). A expansão urbana é um bom exemplo da forma como a mudança da ocupação e uso do solo influencia muito além dos limites administrativos, através da mudança de padrões de consumo associados ao estilo de vida urbano e às suas redes mais amplas de influência (Meyfroidt et al., 2013). Neste contexto, é importante compreender a influência dos fatores externos à mudança e a necessidade de estudar estes fenómenos em três escalas: escala local, regional e global (Figura 2.1).

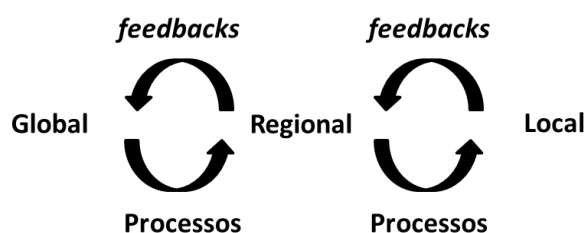


Figura 2.1- Dinâmica entre a escala local, regional e global.

As forças globais tornam-se os principais determinantes da mudança no uso do solo, amplificando ou atenuando fatores locais (Lambin et al., 2001). Neste sentido, as mudanças à escala local dificilmente se entenderão na sua plenitude sem olharmos à escala regional e global. Os padrões regionais de mudança da ocupação e uso do solo são o resultado combinado das alterações a uma escala mais fina, movidas pelo contexto económico e político e pelas forças institucionais, demográficas e dos mercados (Munteanu et al., 2014). As atividades humanas em escalas locais tendem a acumular e ter efeitos significativos sobre padrões e processos de ocupação do solo em escalas regionais e globais (Zhang et al., 2014). Estas características do solo encontram-se relacionadas com características muito particulares, como questões culturais, sociais, políticas, geográficas (características biofísicas), entre outros fatores relacionados com eventos locais (Zhang et al., 2014).

As mudanças são impulsionadas por uma grande variabilidade de fatores que se alteram de local para local. Por outro lado, ao nível local torna-se difícil a perceção de alguns fenómenos globais como as mudanças climáticas. A escala local são precisos conhecimentos específicos da evolução local e dados temáticos a grandes escalas, ou seja, com maior detalhe e com necessidade de atualização distintas consoante se tratem de áreas urbanas ou rurais. Estes dados temáticos estão dependentes da disponibilidade de informação base e do custo associado (Zhang et al., 2014).

O tipo de escala também condiciona a cartografia da ocupação e uso do solo que em função da finalidade que é produzida pode variar desde a escala global, regional ou local. A cartografia para publicação de dados referentes a ocupação e uso do solo à escala global ou nacional requer normalmente escalas pequenas com cobertura de grandes áreas. Este tipo de dados cartográficos são utilizados como informação base para modelações ao nível global, tal como na monitorização de alterações na paisagem, a caracterização do território

e como ferramenta na definição e tomada de decisões políticas de âmbito global (Oliveira et al., 2005).

2.4 A importância do conhecimento da distribuição e evolução do solo

As informações sobre a ocupação e uso do solo e a sua evolução ao longo do tempo são um objetivo científico relevante que permite avaliar o seu impacto sobre o sistema global, meio ambiente e os seres humanos, além de ajudar a compreender a relação entre o Homem e o ambiente (Klein et al., 2012). O conhecimento e o estudo da ocupação e uso do solo é uma ferramenta importante no processo de planejamento e ordenamento do território, possibilitando uma gestão sustentada do território e a conservação dos valores naturais.

De acordo com as projeções do Relatório de Progresso FAO (1997) da Organização das Nações Unidas, a população mundial deve superar os 9 mil milhões de pessoas até 2050 e o mesmo relatório indica que cerca de 16% do total da área do solo cultivável foi degradada pela atividade humana durante a segunda metade do século passado². De forma a responder aos problemas atuais resultantes da contínua degradação do solo, a ciência precisa de entender melhor como a ocupação e uso do solo evoluiu ao longo do tempo, analisando as consequências dessa evolução no meio ambiente e na vulnerabilidade das pessoas e lugares (Rounsevell et al., 2012). Este conhecimento é importante em diversas outras áreas de investigação, que necessitam de informação de ocupação do solo detalhada e exata, tais como a gestão da paisagem e dos recursos naturais, a conservação da biodiversidade, a monitorização e modelação ambiental, a avaliação da quantidade da água e no planejamento territorial e desenvolvimento sustentável. É ainda uma das variáveis mais importantes na investigação das alterações climáticas globais, na monitorização do ciclo de carbono, na avaliação da vulnerabilidade de catástrofes e mitigação das suas consequências, na monitorização da degradação do solo e na saúde e bem-estar humano (Rounsevell et al., 2012).

Atualmente, o conhecimento da distribuição e evolução da ocupação e uso do solo tornou-se uma área de estudo devido ao aumento da intensidade da mudança da ocupação e uso do solo. Esta mudança é considerada a promotora das mudanças globais que verificam

² Para a utilização sustentável do solo e gestão dos desafios sociais e ambientais, advindos da contínua degradação do solo e do aumento populacional, é essencial a monitorização e o mapeamento da ocupação e uso do solo para uma gestão eficiente do solo e dos seus recursos (García-Mora et al., 2012).

atualmente e um fator crítico na modificação das paisagens e condições ambientais em extensas áreas com grandes impactos nos ecossistemas e nos seres humanos (Verburg et al., 2009).

2.5 A produção de cartografia de ocupação e uso do solo (fotointerpretação e classificação digital)

No contexto social atual, o aumento da necessidade de informação compreensível e fiável sobre a ocupação do solo e as suas dinâmicas levou a produção de cartografia da ocupação e uso do solo. Este tipo de cartografia retrata um momento temporal específico com a qual se pode avaliar a extensão, distribuição e relação espacial das classes de ocupação e uso do solo, identificar locais próprios para determinadas atividades e planejar o presente e o futuro. Esta informação também serve como base para estudos mais complexos como a erosão do solo, impermeabilização, entre outros (IGP, 2010).

A produção de cartografia é um processo técnico, individual e social que depende da tecnologia disponível, da perceção do intérprete e do contexto social da sua produção (Straume, 2014). A partir da década de 70 foram desenvolvidos vários métodos para produção de cartografia de ocupação de solo com base em imagens de satélite. No início, esta produção era feita com base em análise visual em tudo semelhante à fotointerpretação de fotografias aéreas (Abrantes et al., 2001).

A produção de cartografia de ocupação e uso do solo por fotointerpretação é baseada na interpretação visual de imagens para identificar as áreas com a mesma classe de ocupação ou uso do solo e delimitá-las diretamente no ecrã do computador com programas específicos. Para delimitação utiliza-se as propriedades espectrais dos objetos como cor/tonalidade, forma, tamanho, textura padrão, altura entre outras propriedades. Esta técnica não é linear e requer um trabalho analítico-dedutivo que sintetiza as relações existentes entre a identificação e a interpretação, não de forma independente mas cíclica (identificação - interpretação - identificação). Esta técnica necessita de um conhecimento das condições de execução da fotografia (condicionantes atmosféricas e escala) e de um variado leque de informações adicionais (data e hora do registo, filme e filtros utilizados) (Abrantes et al., 2001). A fotointerpretação figurou durante cerca de quinze anos como a técnica mais avançada de análise de documentos produzidos por deteção remota. Esta técnica foi utilizada em estudos ligados a áreas tão diversas como a geologia,

geomorfologia, biogeografia, arqueologia e agricultura (Abrantes et al., 2001). Com o aparecimento das imagens de satélite observou-se uma alteração da tendência até então verificada. Verificou-se uma crescente necessidade e motivação em criar e desenvolver técnicas de tratamento numérico e de extração automática de informação sobre a superfície terrestre (Abrantes et al., 2001). Foi então que na década de 90 começaram a surgir os primeiros programas operacionais de produção de cartografia baseados em métodos automáticos. No entanto, a maior parte dessas metodologias ainda necessitam de uma exaustiva pós-edição manual para atingir uma boa precisão, o que faz com que todo o processo ainda seja lento e caro (Caetano et al., 2002). A classificação digital ainda não é uma opção definitiva sobretudo quando a escala de trabalho exige grande rigor e precisão. As pequenas porções de terreno fazem com que dificilmente se consiga extrair informação por processos automáticos e semi-automáticos.

Numa análise custo-benefício, as imagens de satélite e fotografias aéreas e o processo de fotointerpretação tornam-se bastante competitivos e com resultados excelentes. Porém a fotointerpretação quando realizada corretamente requer uma aprendizagem prévia de uma série de princípios e conhecimentos relativos à realidade do terreno, obtidos mediante o exercício dinâmico de ida ao terreno-trabalho de gabinete-ida ao terreno (Abrantes et al., 2001). A qualidade final da cartografia produzida com base em imagens de satélite depende muito do tipo de imagem, nomeadamente a resolução espacial e espectral. Esta qualidade também é determinante na qualidade de informação que pode ser extraída das imagens (Ribeiro, 2007).

A cartografia de ocupação do solo pode ser produzida a diferentes escalas, sendo estas normalmente identificadas como: locais, regionais e globais (Gerlach, 2004); regionais, continentais e globais (Bagan et al., 2005) ou ainda regionais, nacionais e continentais (Oliveira et al., 2005). A escala da cartografia do solo depende do objetivo para o qual é feita e para tal é necessário escolher a resolução dos sensores mais adequada. O desenvolvimento de cartografia de grande escala, ou seja à escala local, requer por norma imagens com grande resolução espacial e com escalas nominais iguais ou superiores a 1:20.000 e para o desenvolvimento de cartografia regional são utilizadas imagens com escalas nominais compreendidas entre 1:25.000 e 1:250.000. A nível Nacional, as escalas nominais usadas estão compreendidas entre 1:500.000 e 1:5.000.000, e por último para a

escala global utilizam imagens de pequena resolução espacial ou seja inferiores à escala nacional (Dymond et al., 2001) .

A elaboração de cartografia é realizada por diferentes unidades administrativas (com diferentes interesses e necessidades) e que possuem diferentes interpretações das classes para um mapa de ocupação e uso do solo, mesmo que usem as mesmas definições de classe. Estas diferenças de concepção podem criar desafios ao processo de cartografia em termos de consistência e comparabilidade do produto final através do tempo e espaço. Estas preocupações são especialmente pertinentes na produção de mapas que serão utilizados em Sistemas de Informação Geográfica (SIG) para, por exemplo, identificar as mudanças terrestres ao longo de períodos mais longos ou comparar os recursos disponíveis dentro de áreas maiores (Straume, 2014).

A informação relativamente à ocupação e uso do solo constitui um instrumento fundamental. Através da informação de ocupação e uso do solo obtida em momentos distintos adquire-se informação com dimensão temporal e espacial sobre a evolução da ocupação e uso do solo. Essa informação sobre a evolução do solo permite a formulação de estatísticas e de análise cruzada com outros promotores naturais e antrópicos sendo fundamentais em processos de diagnóstico, avaliação e no acompanhamento de processos sobre o meio físico e humano (IGP, 2010). Neste sentido, a produção de cartografia temática de ocupação do solo deve ser um processo regular, o que exige a formulação de instrumentos expeditos mas fiáveis de atualização destes elementos no sentido de avaliar e apoiar os processos de decisão e ação sobre o território no presente e futuro (IGP, 2010).

As principais fontes cartográficas de Portugal continental disponíveis são a carta de ocupação do solo de 1990 (COS'90), a carta *CORINE Land Cover* (CLC) que existe para três datas, 1985/86/87 (CLC90), para 2000 (CLC2000) e para 2006 (CLC2006). Todas estas cartas estão em formato vetorial e dividem o espaço em unidades de paisagem (polígono) (IGP, 2010).

2.6 As questões da qualidade nas séries temporais de ocupação e uso do solo

Os processos naturais que alteram a paisagem têm diferentes escalas de tempo (Figura 2.2), assim a escolha da dimensão temporal de estudo da ocupação e uso do solo é particularmente importante porque os seus legados podem persistir quer por dias, anos como por séculos (Munteanu et al., 2014).

A análise da mudança numa curta escala temporal dá a impressão de uma paisagem inalterável, ou com mudanças simples (Marcucci, 2000), logo a perspectiva de mudança da paisagem oferecida pela experiência de uma única geração humana é muito redutora para descrever a paisagem com precisão (Marcucci, 2000).



Figura 2.2 – Escala temporal dos processos que afetam a mudança da paisagem (adaptado de Marcucci, 2000).

A informação sobre a qualidade dos dados geográficos disponíveis é fundamental para o processo de seleção e utilização de bases de dados apropriadas (Alonso et al., 2013). A falta de dados influencia diretamente a capacidade de explorar as mudanças no solo e afeta a percepção, podendo incitar conclusões erradas. As séries temporais têm que refletir as transformações que ocorreram no solo durante um intervalo de tempo observado. Por isso, a análise de sistemas dinâmicos requer o uso de bases de dados com uma resolução temporal detalhada (Nyssen et al., 2014).

Os estudos da mudança da ocupação e uso do solo que utilizam uma série temporal longa com pelo menos mais de 100 anos são extremamente raros (Nyssen et al., 2014). A maioria das séries temporais não possui uma dimensão temporal que abranja todos os processos que determinaram a evolução da paisagem. Por esse motivo, os dados dos processos de mudança em grandes áreas ou/longos períodos de tempo é muitas vezes impossível de obter devido à falta de dados consistentes em larga escala e de longo prazo (Munteanu et al., 2014). Para abordar e medir quantitativamente a mudança da paisagem é necessário medi-la por um longo período de tempo e com intervalos de tempo pequenos (Schneeberger et al., 2007).

No final do século XX surgiram os sensores multi-espectrais *Moderate Resolution imaging spectroradiometer* (MODIS) e o *Medium Resolution Imaging Spectrometer* (MERIS), com uma resolução espacial moderada mas com resolução temporal muito elevada (1 a 3 dias). O que é muito importante na análise temporal das modificações da ocupação e uso do solo já que permite acompanhar esta modificação com elevada periodicidade e com grande detalhe. Estes dois sensores têm custos moderados e possuem uma elevada qualidade a nível da monitorização temporal de várias dinâmicas e fenómenos globais e regionais que só são possíveis estudar com dados atualizados e com uma dimensão multi-temporal (Oliveira, 2005).

Nas últimas décadas, um número crescente de metodologias espacialmente expeditas com base em técnicas de deteção remota foram desenvolvidas com sucesso, onde a precisão dos produtos resultantes podem ser afetados por uma variedade de problemas, como erros de posicionamento e classificação (por exemplo, alocações erróneas em pixéis mistos utilizando classificadores convencionais ou erro de classificação). Ambos os erros podem levar a diferentes níveis de incerteza, cujos efeitos devem ser avaliados para se obter resultados fiáveis e evitar falsos positivos aquando da modelação da probabilidade de mudança da ocupação do solo (Martínez et al., 2011).

2.7 Limitações das atuais formas de cartografia de ocupação e uso do solo

As atuais formas de cartografia de ocupação e uso do solo apresentam algumas limitações. Um dos requisitos base para uma cartografia fiável, dinâmica e com utilidade é que seja elaborada com informação atualizada e de forma regular. A necessidade de informação com estas características conduziu ao desenvolvimento de várias bases de dados por parte de várias iniciativas e programas e com diversas escalas (desde o nível global ao nível local). Esta variabilidade de bases de dados está associada a métodos e normas cartográficas também distintas, refletindo-se numa ausência de homogeneização e universalidade ao nível da cartografia produzida perdendo-se a compatibilidade e a comparabilidade entre os diferentes conjuntos de dados de ocupação do solo e as suas legendas temáticas (Caetano et al., 2002). Atualmente desenvolvem-se esforços de

harmonização na produção e a atualização das bases de dados de ocupação e uso do solo nas diferentes escalas de análise³.

Outra limitação da cartografia elaborada em Portugal é a questão da utilização de fotografia aérea como informação de base para a produção de cartografia de ocupação do solo. A utilização deste tipo de informação resulta em mapas bastante precisos, mas a sua aquisição e fotointerpretação têm custos elevados e consomem muito tempo. Por outro lado, a fotografia aérea apresenta alguns entraves porque exige um planeamento dos voos aéreos para recolha da informação, inviabilizando deste modo os estudos até à recolha da informação (Caetano et al., 2002).

A diminuição das limitações das imagens em cartografia temática depende não só da adequabilidade das imagens escolhidas para a produção cartográfica com determinadas especificações técnicas, como por exemplo a escala, unidade mínima cartográfica e a nomenclatura, mas também da metodologia, características da área de estudo e do maior ou menor sucesso da redução de perturbações introduzidas pela atmosfera e pela topografia (Caetano et al., 2002).

³ A harmonização surge para facilitar o processo de utilização e validação da cartografia em diferentes pontos, em resposta à diretiva europeia INSPIRE (*Infrastructure for Spatial Information in the European Community*) (IGP, 2010).

3 ANÁLISE E MODELAÇÃO DA MUDANÇA DA OCUPAÇÃO E USO DO SOLO EM SISTEMAS SOCIO-ECOLÓGICOS À ESCALA LOCAL

O solo é utilizado por vários intervenientes para diversos fins causando diferentes tipos impactes. Por isso, é fundamental que as mudanças da ocupação e uso do solo sejam monitorizadas para as consequências quer negativas ou positivas.

No estudo da mudança da ocupação e uso do solo é fundamental descrever e explicar a dinâmica e evolução do solo. Para tal, importa considerar e obter respostas as seguintes perguntas: “Onde está a ocorrer a mudança da ocupação e uso do solo e se vai continuar a mudar?”, “Qual é a quantidade de solo que mudou?”, “O que impulsionou e instiga a mudança?” atribuindo um conjunto de fatores causais a mudança, e por último “Quais são os impactes para a biodiversidade?” (Antrop, 1998; Clark Labs, 2012). Basicamente é necessário dar resposta a três perguntas clássicas “onde”, “quando?” e “porquê?”, (Lambin, 1994; Pedrosa e Câmara, 2004)⁴.

Anteriormente os modelos e os estudos sobre a mudança da paisagem abordavam sobretudo a análise de padrões espaciais e negligenciando a importância da função e dos processos da paisagem (Hersperger e Bürgi, 2009). A Modelação, especialmente se for feita de uma forma espacialmente explícita, integrada e multi-escalar é uma técnica importante para a projeção de vias alternativas para o futuro do solo, para a realização de estudos que ajudem na compreensão dos processos-chave e na descrição em termos quantitativos da mudança (Veldkamp e Lambin, 2001).

A compreensão das mudanças da ocupação e uso do solo exige uma boa compreensão dos processos subjacentes (Hersperger e Bürgi, 2009; Veldkamp e Lambin, 2001) Porém, o foco em análises baseadas em promotores não é suficiente para transmitir a complexidade das interações humanas a diferentes escalas. Por esse motivo, os modelos beneficiam da combinação de dados com diferentes escalas espaciais e de diferentes fontes (Rounsevell et al., 2012) sendo importante ter em conta a estreita interação entre os decisores, atores e os processos relevantes em níveis locais, regionais e nacionais (Figura 3.1).

Na avaliação dos processos de mudança da ocupação e uso do solo é importante estudar a variabilidade geográfica dos processos que causam as mudanças e a dinâmica dos

⁴ A análise da mudança e da predição da ocupação e uso do solo deve conter o maior número de componentes e variáveis quanto possível para ser uma ferramenta de planeamento robusta e útil (Clark Labs, 2012).

feedbacks através as escalas espaciais e temporais. Assim como, a compreensão das visões das partes interessadas, a análise dos *trade-off* e utilização de modelos para explorar e identificar os caminhos para melhorar a gestão do solo no futuro (Rounsevell et al., 2012) (Figura 3.1) e na avaliação das mudanças ambientais como um meio de explorar as incertezas das consequências das ações humanas sobre o meio ambiente (Rounsevell e Metzger, 2010). Neste contexto, o conceito de promotores está ganhando cada vez mais importância na pesquisa sobre a mudança da paisagem (Hersperger e Bürgi, 2009).

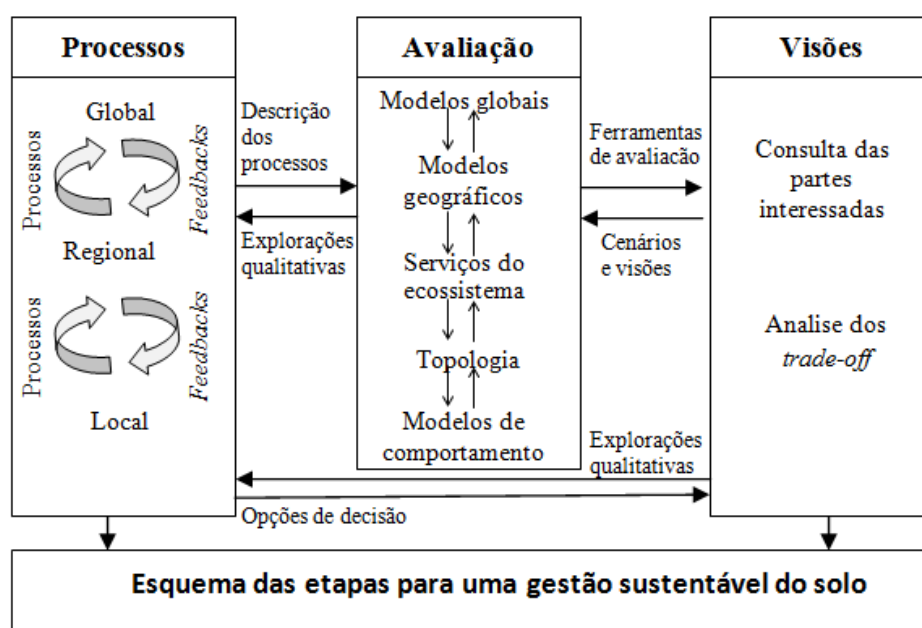


Figura 3.1 – Uma estrutura metodológica integrada para avaliar sistemas do solo no passado, presente e futuro (fonte: Rounsevell et al., 2012).

3.1 A análise de mudança pelas matrizes de transição, cadeias de markov e autómatos celulares

As mudanças da ocupação e uso do solo podem ser analisadas através modelos de análise espaço-temporal dinâmicos. Estes modelos descrevem a evolução de padrões espaciais num intervalo de tempo e podem ser classificados a partir da combinação de três tipos de classificação: a estrutura, níveis de agregação e o tipo de análise (Filho, 1998). Os modelos espaciais devem nos fornecer informação quantitativa dos fenómenos, prever a evolução do solo e integrar a escala espacial e temporal e as variáveis socio-ecológicas promotoras dos fenómenos. Estes modelos complementam a análise multi-temporal com a análise multivariada para obter uma modelação mais precisa da dinâmica real das paisagens e para

prever ou explorar possíveis trajetórias de mudança em função de diferentes cenários. Para tal utilizam-se variáveis de diversas naturezas para explicar os processos.

Os modelos além de apoiar a análise da evolução do solo podem apoiar o planejamento e as políticas da ocupação e uso do solo e dividem-se em três tipos: modelos empíricos e estatísticos (por exemplo as cadeias de Markov e os modelo de regressão), modelos dinâmicos (autômatos celulares por exemplo) e os modelos integrados, como por exemplo o CLUE (*The Conversion of Land Use and its Effects*) (Guan et al., 2011).

Os modelos empíricos e estatísticos são utilizados para análise da mudança da ocupação e uso do solo e fornecem um mecanismo que pode ajudar a identificar as principais variáveis promotoras da mudança. Estes modelos também são facilmente desenvolvidos para um espaço geográfico específico em um momento particular a partir de dados históricos e geográficos que descrevem as condições socioeconômicas e ambientais. Normalmente, as abordagens empíricas usam métodos de regressão para a partir de dados que descrevem a distribuição espacial e histórica da ocupação e uso do solo quantificar as mudanças. Estes modelos evidenciam os relacionamentos entre as variáveis do modelo, a partir da suposição de que os relacionamentos observados no passado continuaram no futuro. Para obtenção de um modelo dinâmico são necessários dados históricos do fenômeno ou seja de uma série temporal. São modelos simples com reduzido número de variáveis utilizadas mas eficientes na elaboração de cenários futuros embora apresentem algumas limitações em abordar a evolução espacial e identificar os aspetos causais da mudança.

As cadeias de Markov modelam a mudança de uma forma multi-direcional, assim sendo, uma parcela de solo pode teoricamente mudar de uma categoria para outra e vice-versa em qualquer intervalo de tempo (Filho, 1998). Portanto, comparando as mudanças da ocupação do solo em diferentes estados, as suas mudanças dinâmicas espaciais e temporais podem ser obtidas através da simulação.

As cadeias de Markov, segundo Pedrosa e Câmara (2004), traçam processos estocásticos demonstrados na seguinte expressão:

$$\Pi(t+1) = P^n \cdot \Pi(t)$$

O $\Pi(t)$ é o estado do sistema no tempo t , $\Pi(t+1)$ é o estado do sistema após o intervalo $(t+1)$ e o P^n representa os estados possíveis de acontecer, que são representados em matrizes de possibilidades de transição.

O algoritmo das cadeias de Markov compara dois mapas da ocupação do solo que se sucedem cronologicamente, e estima e configura uma matriz de probabilidades de transição. Isto significa que a modelação não leva em conta as variáveis explicativas e descritivas, mas depende, exclusivamente, da análise da dinâmica interna do sistema, que no nosso caso corresponde à evolução da ocupação e uso do solo. Trata-se de um procedimento discreto num tempo discreto, onde o valor do tempo t_1 depende dos valores nos tempos t_0 e t_{-1} (Fernandes, 2006).

Os cenários materializam-se numa série de mapas de ocupação do solo, um para cada categoria, para um tempo futuro, onde o nível digital de cada *pixel* expressa a probabilidade de pertencer à categoria analisada (Fernandes, 2006). Como resultado obtém-se numa matriz de probabilidades de transição entre todas as categorias de ocupação do solo indicando as áreas de transição onde é indicado o número de pixéis que se podem submeter a uma transformação. As matrizes de probabilidades de transição representam a possibilidade de um determinado estado i permanecer no mesmo ou mudar para outro estado durante o intervalo de tempo $t \geq t+1$. As probabilidades de transição são usualmente derivadas de amostras relativas a um dado intervalo de tempo (Paegelow et al., 2003). A matriz de transição possui a capacidade de uma forma simples de representar o modelo de estado e transições. Esta matriz não consiste num modelo espacial por si só, já que não há uma representação espacial das transições ocorridas apenas apresenta a quantidade de mudança por categoria (Fernandes, 2006).

As mais-valias das cadeias de Markov são a simplicidade operacional e matemática do modelo aliadas a facilidade com que podem ser aplicadas a dados provenientes de deteção remota e implementadas em Sistema de Informação Geográfica (SIG) e o fato de não necessitar de grande quantidade de dados antigos para prever o futuro. Mas este modelo também apresenta limitações já que não responde às três perguntas que se espera obter resposta num modelo espacial. À pergunta “porque ocorre a mudança?” o modelo não consegue responder, assim como não indica onde ocorre a mudança (Pedrosa e Câmara, 2004). As cadeias de Markov é uma boa ferramenta para descrever e projetar quantitativamente as mudanças da ocupação e uso do solo, porém elas não relacionam a célula com a sua vizinhança no espaço. Para solucionar este problema utilizam-se as cadeias de Markov conectadas a modelos que espacializam as células, como os autómatos celulares (Terra e Silva, 2012).

Os autómatos celulares são um sistema dinâmico e discreto no tempo que representa o espaço em formato raster, em que cada célula possui somente um estado por vez, dentro de uma série de estados que definem os atributos do sistema que podem ou não mudar ao longo do tempo. Esta transformação ocorre a partir da situação dos estados das células na vizinhança, o que é denominado de regra de transição (Umbelino e Barbieri, 2010). Os benefícios da utilização deste tipo de modelação encontram-se na multiplicidade e heterogeneidade de agentes e espaços, de não ser um processo linear e a análise ser essencialmente dinâmica e espacial. Normalmente os autómatos celulares encontram-se combinados com as cadeias de Markov. Na previsão da ocupação do solo esta combinação acrescenta um elemento de contiguidade espacial, bem como o conhecimento da distribuição espacial e probabilidade de transição para a análise da cadeia de Markov (Eastman, 2012).

Um modelo que combina as cadeias de Markov e os autómatos celulares é uma abordagem robusta e uma abordagem adequada em análise espacial e temporal da ocupação e uso do solo, porque os dados de detecção remota podem ser eficientemente incorporar num sistema de informação geográfica (SIG) (Guan et al., 2011; Kamusoko et al., 2009).

3.2 Identificação dos drivers/promotores de alteração desde as escalas globais à escala local

A análise da mudança da ocupação e uso do solo têm como base o estudo dos *drivers* de mudança, sendo “promotor de alteração” ou “força motriz” a palavra portuguesa mais correta para *drivers*. Os promotores são fatores que alteram uma ou mais características do ecossistema e podem ser descritos teoricamente como agentes causadores de mudança na paisagem, ou seja, eles influenciam as trajetórias de desenvolvimento da paisagem (Hersperger e Bürgi, 2009; Millennium Ecosystem Assessment, 2005b). Essas forças também são designadas por processos de distorção (Marcucci, 2000) ou processos causais ou fatores causais (Geist et al., 2006).

Segundo Marcucci (2000), a análise da paisagem apenas deve focar processos designados de distorção, ou seja, os que influenciam a trajetória evolutiva da paisagem. Uma alteração ou dissolução de um processo de distorção irá resultar em uma nova trajetória. Outros processos podem causar mudança localizada, geralmente de curta duração, mas não contribuem para o padrão geral de mudança (Marcucci, 2000). Cada paisagem apresenta

um conjunto específico de processos de distorção e que se alteram ao longo do tempo. O conjunto de processos de distorção que influenciam uma paisagem de hoje não são os mesmos que existiam no passado e provavelmente serão diferentes no futuro (Marcucci, 2000). O comportamento das pessoas e da sociedade (agentes e estrutura) e a forma como estes agentes e o solo estão conectados ao mundo mais amplo dentro do qual eles existem, influenciam estes processos de distorção (Rounsevell et al., 2012).

Para estudar e definir os promotores da mudança é necessário entender as paisagens como entidades holísticas, ou seja considerar as paisagens como um todo e as suas relações, refletindo as influências físicas e culturais (Wood e Handley, 2001). Por esse motivo, o estudo do sistema solo tem de lidar com o desafio multi e interdisciplinar para entender a relação natureza-sociedade e alhear-se das relações causa-efeito difíceis de suportar empiricamente mas que ganham popularidade suficiente para influenciar políticas graças a sua simplicidade (Lambin et al., 2001).

As abordagens atuais sobre os promotores que influenciam a ocupação e o uso do solo são com base na caracterização e análise de parâmetros biofísicos. Mas estes parâmetros não são suficientes para desenvolver uma compreensão abrangente das mudanças na ocupação e uso do solo. Assim, o papel dos processos biofísicos e os fluxos socioeconômicos, políticos e socio ecológicos são fundamentais para analisar e entender as trajetórias de mudança no solo. Além disso, é importante para estudos da ocupação e uso do solo, dos aspetos culturais e históricos dos padrões de paisagem (Rounsevell et al., 2012), da compreensão da tomada de decisão por parte dos gestores do solo e a interação nos contextos específicos à escala local, regional ou global (Geist et al., 2006).

Os promotores de mudança variam geograficamente e com o contexto histórico (Munteanu et al., 2014) e podem operar em diferentes escalas e determinados por agentes específicos e diversos. Estes agentes podem ser de várias naturezas e podem por vezes ser distantes no espaço e/ou no tempo das mudanças observadas, e muitas vezes envolvem transformações macroeconômicas e mudanças políticas que são difíceis de prever (Geist et al., 2006; Serneels e Lambin, 2001).

Numa análise mais superficial e casual leva ao reconhecimento de que existem dois elementos que afetam a ocupação e uso do solo: os elementos naturais/físicos e os elementos sociais. Ambos precisam ser contabilizados em qualquer explicação para a mudança da paisagem. Segundo o diagrama (Figura 3.2), a análise da mudança da

ocupação e uso do solo é realizada na perspectiva de sistemas o que é útil na compreensão da sua dinâmica. A Figura 3.2, demonstra o papel importante dos proprietários e gestores do solo e como os promotores influenciam a sua visão sobre a ocupação e uso do solo. Os processos de *feedback* complementam a relação linear de *inputs*, processos e resultados, em suma, um grupo de peças que interagem em múltiplos processos (Wood e Handley, 2001).

Do ponto de vista teórico e empírico, o diagrama também é problemático, as próprias caixas são suficientemente amplas ("sistemas sociais", "sistemas ecológicos" e "sistema de uso do solo") que, ao fornecer orientação, elas também são vagas. As setas são de duplo sentido ou envolvem *feedbacks* sendo pouco claras ou vagas na definição dos promotores das mudanças. Mas é compreensível visto que Figura 2.2 descreve um sistema que pode ser entendido como uma “equação” interativa naturalmente complexa e ampla onde tudo depende de tudo (Wood e Handley, 2001). A paisagem como interativa que é consegue incessantemente fazer e refazer-se através de processos de mudança contínua (ou parcial) e descontínua.

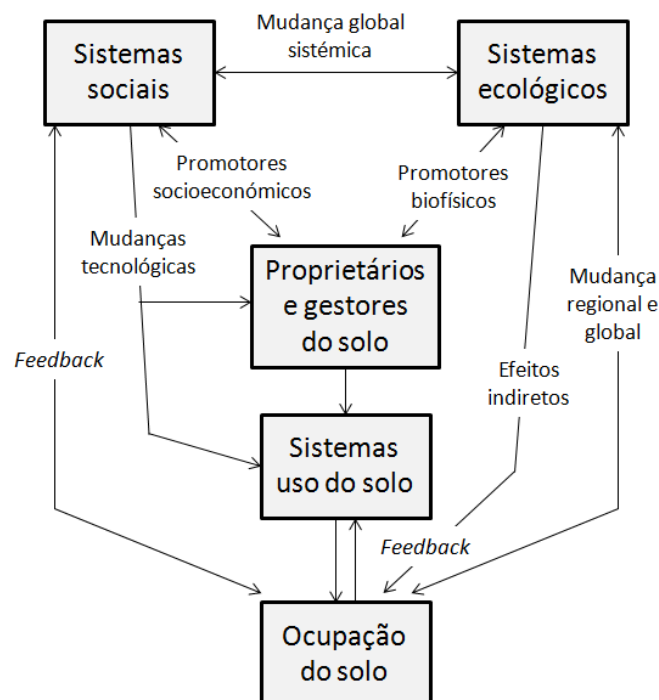


Figura 3.2 – Sistema com os promotores da alteração da ocupação do solo. (Adaptado de Lambin et al., 2006)

Os promotores responsáveis pela mudança da ocupação e uso do solo podem ser diretos e indiretos e agrupados em quatro escalas espaciais: Solo, topografia, uso do solo e clima à

escala local; acessibilidade aos serviços e mercados e a propriedade do solo à escala regional; e o crescimento da população e as políticas e mudanças tecnológicas à escala nacional (Etter et al., 2006). É importante ressaltar que os promotores diretos e indiretos têm várias relações de interligação e de *feedback* e operam em diferentes escalas espaciais ou níveis de agregação (Newman et al., 2014; Rounsevell et al., 2012).

Os promotores diretos influenciam diretamente os processos de mudança de ocupação e uso do solo e podem ser identificados e medidos (Almeida, 2013). Envolvem uma ação física que altere a paisagem e são geralmente limitados a um conjunto recorrente de atividades humanas como a agricultura, silvicultura (ou extração de madeira) e a construção de infraestruturas ou a extensão da estrutura urbana já existente. Os promotores diretos geralmente operam ao nível local, como por exemplo, as explorações agrícolas individuais ou familiares (Geist et al., 2006), o aumento da área urbana, entre outros.

Segundo Wood et al. (2004) a agricultura é o mais importante promotor da mudança da ocupação e uso do solo. Visto que cerca de 40% do solo é utilizado neste sector, e nos últimos anos tem-se verificado um aumento na intensificação e expansão agrícola (Turner et al., 2007). O ritmo da transformação dos solos agrícolas tem sido rápido nos últimos 300 anos (Lambin et al., 2006)⁵ e a maioria destes solos foram obtidos pela conversão de florestas naturais, pastagens e zonas húmidas que fornecem habitats importantes para espécies e serviços valiosos para a humanidade (Lambin et al., 2006).

Ao nível florestal, o principal promotor de alteração é a desflorestação principalmente para a prática agrícola (agricultura itinerante) até a exaustão do solo e depois deixando-as ao abandono (Lambin et al., 2001)⁶.

Os promotores indiretos operam de forma mais difusa mas podem influenciar ou até mesmo alterar um ou mais promotores diretos (Geist et al., 2006; Newman et al., 2014). Em contraste com os promotores diretos, os indiretos podem ser provenientes da escala regional (distritos, regiões ou nacional), ou até mesmo ao nível global, com interações complexas entre os vários níveis de organização (Geist et al., 2006). Estes promotores são

⁵ O projeto BIOME 300 teve como objetivo a criação de um banco global de dados históricos de ocupação do solo e indica que a área global de agricultura aumentou de 3-4 milhões de km² em 1700 para aproximadamente 15-18 milhões km² em 1990 (Lambin et al., 2006).

⁶ Este tipo de mudança no regime de ocupação do solo verifica-se principal nos países tropicais. Em Portugal é possível encontrar este tipo de agricultura nas zonas de montanha para produção de pastagens através de queimadas.

principalmente fatores biofísicos; tecnológicos e inovação; socioeconómicos; acessibilidade, mobilidade e comunicação e políticos, institucionais e propriedade.

Fatores Biofísicos

Os fatores biofísicos que intervêm nas mudanças de ocupação do solo são o conjunto de fatores bióticos e abióticos como o clima (temperatura, precipitação e radiação solar), o solo (tipo de solos, ocupação e uso do solo, potencial do solo), a litologia, a topografia (altitude, inclinação), o relevo, declive, a hidrologia e vegetação (Rounsevell et al., 2012). Apesar dos avanços científicos e tecnológicos, os fatores biofísicos como o relevo, solos e clima ainda exercem uma influência significativa sobre a ocupação e uso agrícola e florestal e a localização das áreas urbanas (Serra et al., 2008).

Fatores tecnológicos e inovação

A tecnologia e inovação têm vindo aumentar desde a existência do Homem. O controlo do fogo, a domesticação de animais, uso de combustíveis fósseis, o sedentarismo e a agricultura permitiu o aumento da utilização dos recursos naturais e foram segundo Lambin et al. (2006) e Grübler (1994), um dos impulsionadores na mudança da paisagem. Em termos globais, a grande etapa de alterações do solo verificaram-se com a revolução industrial e época do pós-guerra. Também foi nesta etapa da história do Homem que se verificam os maiores avanços tecnológicos tornando mais fácil a exploração dos recursos naturais e um óbvio aumento dos impactes no ambiente. Este aumento da tecnologia foi o principal impulsionador da expansão económica e o crescimento populacional em todo o mundo, especialmente nos países em desenvolvimento que priorizam a prosperidade económica (Wu et al., 2013).

Um marcante exemplo da mudança da ocupação e uso do solo pela tecnologia é a modernização tecnológica da agricultura. Em Portugal, assim como em muitos outros países do Mediterrâneo, o principal tipo de uso do solo foi de sequeiro de cereais até meados do século XX. Após a introdução da agricultura moderna e a abertura dos mercados internacionais, a agricultura orientada para o mercado de cereais tornou-se inútil na maioria das áreas em Portugal. Além disso, as mudanças socioeconómicas e políticas em Portugal na década de 1970 com o fim da ditadura levou ao aumento dos salários e ao êxodo rural das terras nas regiões de difícil acesso como as zonas de montanha ou zonas interiores. O abandono implícito da agricultura tradicional que era praticada até as últimas

décadas levou a um extenso declínio das terras aráveis com transformações muito importantes para a paisagem (Nunes et al., 2011).

Num futuro próximo também a tecnologia da informação é suscetível de se tornar uma importante força motriz na mudança da paisagem (Hersperger e Bürgi, 2009) .

Fatores socioeconómicos

Os fatores socioeconómicos desempenham um papel importante como promotor da mudança da ocupação e uso do solo, o que não é uma surpresa, já que a atividade económica global aumentou quase sete vezes entre 1950 e 2000 em paralelo com a duplicação da população mundial nos últimos 40 anos, aumentando assim a demanda de muitos bens e serviços dos ecossistemas (Geist et al., 2006; Millennium Ecosystem Assessment, 2005a).

Os fatores económicos e políticas relacionadas definem uma série de variáveis que têm um impacto direto sobre a tomada de decisão por parte dos proprietários do solo, por exemplo, demandas de consumo, estrutura do mercado, preços, impostos, subsídios governamentais e incentivos, custos de produção e transporte, os fluxos de capital e investimentos, acesso ao crédito, comércio e tecnologia. Os impostos e os subsídios em particular, são forças motrizes importantes na dinâmica das mudanças da ocupação e uso do solo e dos ecossistemas relacionadas. Atualmente, muitos subsídios aumentam substancialmente as taxas de consumo de recursos e as externalidades negativas deste sector (Geist et al., 2006). A demanda do mercado por produtos florestais e agrícolas abrange não só as necessidades básicas, mas também as necessidades que vão além da satisfação imediata das necessidades de subsistência da população (Geist et al., 2006). O aumento da demanda contribui para a expansão das culturas e pastagens em florestas e o cultivo de sequeiro (por exemplo, algodão, arroz e legumes), bem como várias formas de intensificação das explorações agrícolas existentes (Geist et al., 2006). A demanda do mercado exerce uma pressão nos produtores agrícolas para desenvolver práticas de uso do solo para além da produção de subsistência. Esta necessidade ou possibilidade de compra de bens ou serviços constitui um fator importante na alteração do uso do solo (Geist et al., 2006).

As características mais importantes da população não é a sua dimensão numérica, mas sim, a sua composição e distribuição, ou seja, as mudanças na urbanização e no tamanho das famílias. As variáveis demográficas e, em particular, o aumento da população influencia o crescimento das áreas urbanas, assim como o aumento e reforço das infraestruturas que

proporcionaram condições a mobilidade pessoas e mercadorias e mais consumista dos bens obtidos (in) diretamente do solo (Geist et al., 2006; Millennium Ecosystem Assessment, 2005a). O crescimento populacional e a pressão que exerce sobre o solo têm sido centrais na definição da condição humana como sendo o principal vetor da mudança da paisagem. Este aumento desordenado da população nas zonas urbanas causam um grande impacto sobre os ecossistemas com consequências ao nível da degradação ambiental, sobrecarga de infraestruturas, impermeabilização dos solos e mudanças na ocupação e uso do solo. Este crescimento desordenado verifica-se principalmente nos países em desenvolvimento de rápido como a China, Índia, Paquistão, Turquia e os países da América Latina e esta situação têm atraído muita preocupação (Wu et al., 2013).

A área urbana (edifícios ou áreas pavimentadas) ocupa apenas 2% da área total da superfície terrestre. Apesar de ser uma área diminuta apresenta grandes implicações na mudança da ocupação e uso solo não apenas localmente mas com impactos noutros locais através das ligações rural-urbano (Lambin et al., 2001). Os centros urbanos e periurbanos ainda têm consequências na paisagem como a sua fragmentação e a perda de conectividade. Qualquer mudança na população (como a fertilidade, mortalidade ou a emigração) provavelmente interage com outros fatores tão diversos como organização social (por exemplo, redes, arranjos institucionais), tecnologia, estilo de vida e os padrões de consumo (Geist et al., 2006).

No caso de Portugal, as dinâmicas populacionais e económicas destas últimas décadas têm sido verificadas principalmente entre o litoral e o interior (Honrado et al., 2011), sendo notório as diferenças de densidade populacional, vitalidade e funcionamento social e económico entre estas duas regiões. Esta distribuição heterogénea da população, além das dificuldades que impõem ao ordenamento e a gestão do território também possui precursões ao nível da evolução da ocupação e uso do solo nas últimas décadas. A transição sem precedentes de uma sociedade predominantemente agrícola para uma sociedade modernizada e industrializada, tem ditado a mobilidade populacional que se verifica das zonas interiores mais elevadas, com condições climáticas mais severas e com elevados declives, para o litoral com espaços mais amenos e de maior produtividade primária. Grandes áreas de solo cultivável, florestas e pastagens, bem como inúmeros corpos de água, têm sido convertidos para atender à forte demanda decorrente da urbanização e do desenvolvimento industrial. Nas planícies costeiras, a homogeneidade e a

degradação da paisagem, especialmente após a expansão das áreas urbanas características do turismo de massa, tem reduzido a biodiversidade natural e cultural, enquanto nas áreas montanhosas do interior, a degradação da antiga paisagem agrícola aumentou os fenómenos de erosão dos solos e incêndios florestais (Serra et al., 2008) devido à homogeneização da paisagem, em combinação com a acumulação de biomassa inflamável (Sluiter e Jong, 2006).

Acessibilidade, mobilidade e comunicação (globalização)

As mudanças da ocupação e uso do solo são fortemente influenciadas por fluxos de bens, serviços, informação, capitais e pessoas, e cada vez mais impulsionadas por mercados distantes e muitas vezes associados à crescente classe consumidora urbana nos mercados emergentes (Meyfroidt et al., 2013). O reforço das infraestruturas após a revolução industrial proporcionou as condições fundamentais para o aumento da mobilidade, da acessibilidade e da comunicação. A criação de infraestruturas, especialmente estradas e linhas férreas, eletrificação, serviços de saúde e de água potável foi um passo crucial no sentido de melhorar a mobilidade populacional de um local para o outro provocando a intensificação da ocupação e uso do solo numa região normalmente em desenvolvimento (Lambin et al., 2001). A mobilidade dentro do território também contribui para a diferenciação destes espaços e com consequências ao nível do abandono dos espaços agroflorestais e o incremento ao crescimento das áreas urbanas nas cidades.

Fatores políticos, institucionais e propriedade

Os processos da paisagem são muitas vezes desencadeados por tendências e políticas mundiais, europeias, nacionais e locais ao longo da história. A dinâmica demográfica, económica e tecnológica reflete a interação entre as instituições (políticas, jurídicas, económicas e tradicionais) com a tomada de decisão individual.

A política governamental desempenha um papel onipresente e decisivo na mudança da ocupação e uso do solo. Nas questões demográficas, os governos intervêm na redução ou aumento da fertilidade e na emigração influenciando assim, os fatores demográficos. No domínio económico, as instituições governamentais controlam os preços, os subsídios, os créditos e promovem a industrialização e a exportação. Os governos nacionais exercem uma enorme influência sobre as decisões do uso do solo por meio de políticas económicas e financeiras e políticas específicas, em várias áreas como ambientais, florestais e agrícolas.

Ao longo da história e nas grandes regiões do mundo, a expansão dos solos agrícolas serviu muitas vezes como uma ferramenta de redistribuição da população e também desempenhou um papel fundamental na formação e consolidação dos Estados-nação. O acesso ao solo, trabalho, capital, tecnologia e informação é estruturada e frequentemente condicionada por políticas e instituições. A atribuição de subsídios para o desenvolvimento destas áreas desde a produção agrícola, silvicultura, entre outros é considerada um dos maiores impedimentos para a sustentabilidade ambiental no futuro.

Na Europa, a criação da União Europeia (UE) e as políticas que foram tomadas teve um grande impacto na evolução, muito particularmente na ocupação e uso do solo nos países membros. O caso de Portugal é representativo dos processos de mudança dos países mediterrânicos membros da EU. Estes países sofreram uma evolução política, económica e social ampla durante o século 20, com a adesão à União Europeia beneficiando de vários instrumentos de subsídios europeus, tais como a Política Agrícola Comum (PAC) e do Fundo Europeu de Desenvolvimento Regional que determinaram mudanças na ocupação e uso do solo (Stellmes et al., 2013).

A reforma da Política Agrícola Comum (PAC), em 1992, previa beneficiar o meio ambiente e a florestal. Estas medidas visavam apoiar os processos previstos de mudança, e mitigar alguns dos efeitos considerados desfavoráveis para os agricultores. A PAC estabeleceu um programa de ajuda à florestação com o objetivo de aumentar os recursos florestais de longo prazo e de combater a erosão do solo e desertificação, promovendo a silvicultura como uma forma alternativa do uso do solo. No entanto, a eficácia global da reflorestação na redução da erosão do solo permanece incerta, devido ao fraco desenvolvimento da cobertura florestal em algumas áreas (Nunes et al., 2011). Nos países mediterrânicos, estas políticas levaram ao abandono generalizado da agricultura, intensificou as práticas produtivas nas áreas mais férteis, principalmente nas planícies, acompanhada de uma forte exploração dos recursos hídricos e o abandono quase total da agricultura tradicional nas zonas desfavorecidas. Estas políticas contribuíram ainda para o aumento das tendências de urbanização, bem como um aumento na intensidade de uso do solo (Stellmes et al., 2013; Nunes et al., 2011).

As políticas governamentais determinam o acesso aos mercados, em grande parte condicionada por investimentos governamentais, transportes e outras infraestruturas (Geist et al., 2006). As áreas de cultivo para subsistência de famílias mais nas zonas rurais estão a

diminuir enquanto os terrenos com culturas extensivas destinadas aos mercados tem crescido na medida do aumento da procura. Este aumento das culturas extensivas está também relacionado em paralelo com um aumento da intensidade e extensão agrícola fortemente impulsionado por medidas políticas de incentivo ao aumento da tecnologia (Geist et al., 2006; Millennium Ecosystem Assessment, 2005a)

As guerras, rebeliões e conflitos violentos pelo solo levam ao rompimento da gestão do solo provocando assim, a degradação e desertificação do solo (Geist et al., 2006)

Além destas políticas governamentais mais economicistas, as políticas relacionadas com os instrumentos de desenvolvimento e de gestão territorial e as condicionantes públicas e privadas de uso do solo determinam ou proporcionam uma linha orientadora de como o solo pode ser utilizado e as atividades que podem ser realizadas. Estes instrumentos determinam muitas das vezes as alterações verificadas no solo numa região, por exemplo o Plano Diretor Municipal (PDM) define as áreas para zona urbana, ao definir estas áreas este instrumento está a definir a direção da mudança. Os vários instrumentos legais, como é o caso da conservação da natureza com base em redes de espaços protegidos e classificados: a Rede Natura 2000, a Rede Nacional Agrícola (RAN), a Rede Nacional Ecológica (REN) entre outros, restringem ou impedem as mudanças da ocupação e uso do solo dentro das áreas condicionadas por instrumentos legais.

Os efeitos das forças motrizes em questão também dependem do contexto biofísico e sociocultural em que o proprietário do solo está inserido. Um proprietário de uma zona de montanha vai ter opções distintas de que um proprietário de solo urbano por exemplo. Por isso, a importância dos fatores biofísicos e culturais na análise das dinâmicas que ocorrem no solo.

O solo é propriedade de alguém quer seja uma entidade pública ou privada e os seus administradores têm várias motivações, crenças e perceções individuais, memórias coletivas e histórias pessoais, e é esses valores, que afetam as suas decisões neste campo. Compreender os modelos mentais de vários proprietários pode, assim, ajudar a explicar a gestão dos recursos, estratégias adotadas, o cumprimento ou a resistência às políticas, ou aprendizagem social, e, portanto, a resposta social face à mudança no uso do solo (Lambin et al., 2003). Não surpreende, que as questões relativas ao direito de propriedade surjam como fatores importantes em alguns casos de mudança (Geist et al., 2006; Serra et al., 2008) principalmente no uso do solo.

O uso do solo é determinado em grande parte pelos proprietários ou decisores. Em Portugal, o regime e estrutura da propriedade divide-se em propriedade privada, pública e comum. A propriedade, principalmente os baldios, são determinantes a influir a mudança no uso do solo

As mudanças na ocupação e uso do solo também são resultado de políticas e decisões do governo com o intuito de atrair capital internacional e a fim de facilitar as oportunidades de mercado ou de promover os interesses de grupos específicos através da exploração de recursos naturais controlados pelo Estado (Lambin et al., 2001).

Ainda existe um terceiro grupo de promotores denominados por naturais/espaciais. As perturbações naturais podem ser ações rápidas ou lentas, atualmente a maior das perturbações naturais de ação lenta é a mudança global. As perturbações naturais de ação rápida são, por exemplo, avalanches, deslizamentos de terra e furacões. As calamidades ou eventos extraordinariamente graves também tem sido propostos como um promotor (Hersperger e Bürgi, 2009). Os desastres que raramente são grandes o suficiente para afetar uma paisagem inteira não são considerados. No entanto, eles podem ajudar a explicar porque certas manchas desenvolvem-se de forma diferente (Hersperger e Bürgi, 2009).

3.3 A relação entre ocupação/uso do solo e serviços ambientais

Os serviços dos ecossistemas (Figura 3.3) são os benefícios prestados pelos ecossistemas ao Homem. Estes incluem os serviços de produção (alimentos, água, madeira, fibra e recursos genéticos), serviços de regulação (regulação do clima, inundações, doenças e qualidade da água) e os serviços culturais (recreação, prazer estético e realização espiritual) e serviços de suporte (formação do solo, a polinização, reciclagem de nutrientes) (Millennium Ecosystem Assessment, 2005a).

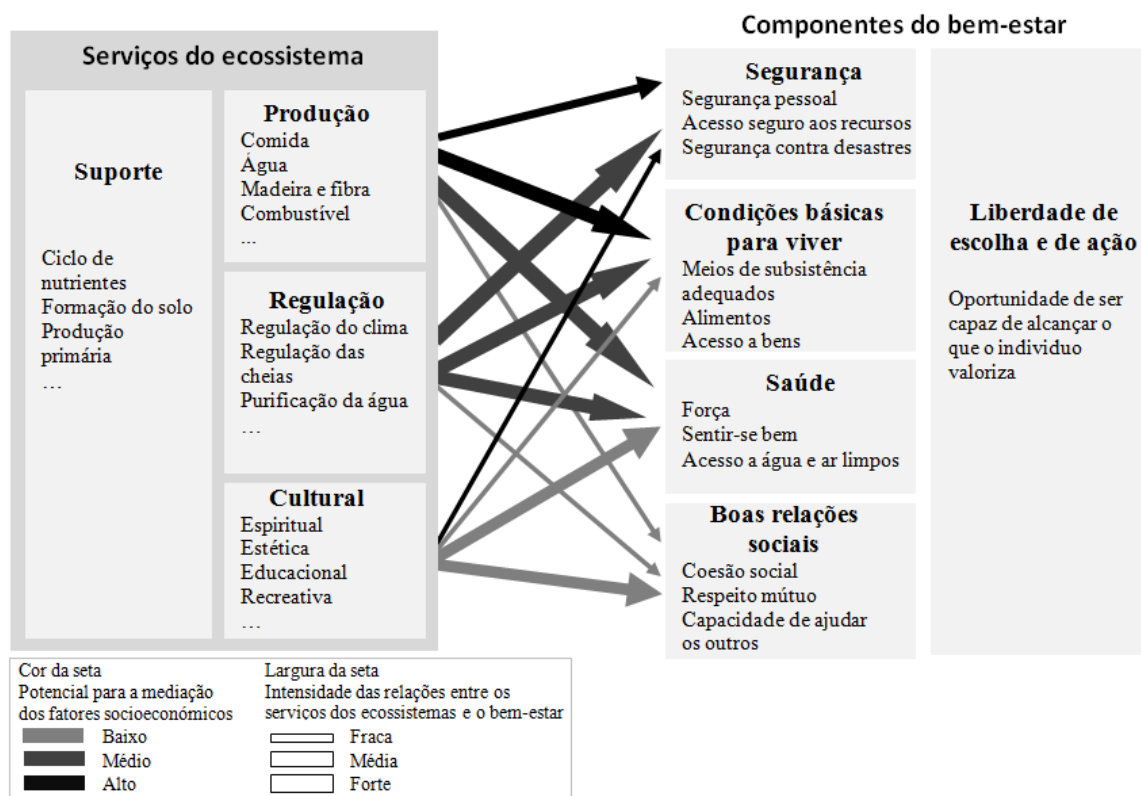


Figura 3.3 – Relação e a força das ligações entre as categorias de serviços dos ecossistemas e a sua influência sobre as componentes do bem-estar humano (Adaptado de Millennium Ecosystem Assessment, 2005a).

As pessoas transformam o solo para beneficiarem dos serviços de ecossistema favorecendo determinadas espécies em detrimento das restantes (Haberl et al., 2004). Tornando a relação entre ocupação do solo, uso do solo e a prestação de bens e serviços pelos ecossistemas num dos principais desafios da modelação da mudança (Verburg et al., 2009). Quando ocorrem mudanças na ocupação e uso do solo, a integridade ecológica pode ser muito afetada e consequentemente a capacidade do ecossistema em fornecer bens e serviços específicos (Clerici et al., 2014). Segundo o estudo do Millennium Ecosystem Assessment (2005a), aproximadamente 60% (15 em 24) dos serviços dos ecossistemas avaliados (incluindo 70% de serviços de regulação e culturais) estão sendo degradados ou usados de forma insustentável.

As causas diretas mais importantes nas mudanças dos ecossistemas e por consequência perda de serviços do ecossistema são a perda de habitat, a modificação física ou retirada de água dos rios, a exploração excessiva de recursos, as espécies exóticas invasoras, a poluição e a mudança climática. Todos estes promotores são consequência das práticas do Homem no solo ao longo do tempo (Millennium Ecosystem Assessment, 2005a).

Para os ecossistemas terrestres, as causas diretas mais importantes na perda de serviços dos ecossistemas nos últimos 50 anos foram as mudanças na ocupação e uso do solo, em particular a conversão de solos agrícolas e a aplicação de novas tecnologias. Nos locais com potencial para produção agrícola, a maioria foi transformada para áreas de cultivo. Somente biomas relativamente inadequados a esta atividade, como desertos, florestas boreais e tundra, mantiveram-se, em grande parte não transformada pela ação humana (Millennium Ecosystem Assessment, 2005a).

Para os ecossistemas marinhos e de água doce, a perda de serviços não depende diretamente das mudanças que se verificam no solo, porém podem contribuir indiretamente em alguns aspetos. A mudança do uso do solo para o sector agrícola pode ter perda de serviços a nível dos corpos de água em resultado da modificação dos regimes hídricos para dar resposta a crescente necessidade de água nos últimos anos para a rega e para abastecer com água e eletricidade as zonas urbanas. Este aumento das zonas agrícolas e urbanas são fontes de poluição difusa como escoamento de águas pluviais das áreas urbanas, instalações sanitárias pobres ou inexistentes em áreas rurais, lixiviação do estrume do gado e dos nutrientes aplicados na produção agrícola pela chuva que polui os corpos de água causando eutrofização e altos níveis de nitratos na água potável em algumas localidades (Millennium Ecosystem Assessment, 2005a).

O uso dos serviços do ecossistema pelo Homem está aumentar drasticamente. A Mudança na ocupação e uso do solo, principalmente a contínua expansão da agricultura, deverá continuar a ser um dos principais promotores diretos da mudança dos ecossistemas terrestres e de água doce. Ao nível global e em todos os cenários, a mudança da ocupação e uso do solo deverá manter-se como o promotor dominante na alteração da biodiversidade nos ecossistemas terrestres, de acordo com o padrão dos últimos 50 anos, seguido pelas mudanças climáticas e deposição nitratos que também se devem em grande parte pelas mudanças do solo (Millennium Ecosystem Assessment, 2005a).

Assim sendo, as práticas de gestão e as tecnologias utilizadas no solo podem causar grandes mudanças nos serviços dos ecossistemas do qual o nosso bem-estar esta inteiramente dependente do seu contínuo fornecimento.

3.4 A relação entre ocupação/uso do solo e os riscos

A mudança na ocupação e uso do solo acarreta muitos mais impactes além da perda de serviços ambientais, como nos riscos associados. Os efeitos da mudança refletem-se na qualidade do solo, na perda de biodiversidade e na vulnerabilidade do território e das pessoas aos riscos naturais (Wasige et al., 2013).

Os riscos naturais têm ganho importância devido afetarem a sociedade civil e provocarem impactos socioeconómicos. As áreas metropolitanas são os locais mais vulneráveis aos riscos naturais devido a três razões: elevada concentração de pessoas e atividades num espaço definido e limitado, grande número de pessoas e atividades e por último a proximidade aos riscos proporcionados pelo próprio Homem (Alimohammadlou et al., 2013).

A perceção e o estudo da interligação das mudanças da ocupação e uso do solo e os riscos naturais são muito importantes na tomada de decisões políticas e na gestão da vulnerabilidade e dos riscos. O conhecimento aprofundado sobre estas áreas é uma ferramenta importante na elaboração de medidas mitigadoras destes fenómenos para a proteção e melhoria do ambiente e do bem-estar humano.

Nos riscos naturais é de destacar o risco de erosão hídrica dos solos, de movimentos de massa em vertentes em vertentes, de incêndio, de cheias e inundações e invasão lenhosa com impactes à escala local e regional.

Risco de cheias e inundações

As cheias e inundações não são um fenómeno atual, sempre ocorreram ao longo da história mas atualmente suscitam maior preocupação devido as cheias e inundações inesperadas e de grande magnitude (Le Maitre et al., 2014).

A infiltração de água através da superfície do solo e a percolação no solo são processos-chave na regulação do fluxo da água porque determinam a quantidade de água que flui imediatamente sobre a superfície e quantidade que é retida no solo. Neste processo, a cobertura vegetal é fundamental porque fornece a matéria orgânica e o habitat para a fauna do solo que interagem para estabilizar e manter a estrutura do solo e facilitar a infiltração e retenção de água da chuva no solo (Figura 3.4).

Os efeitos hidrológicos e as atividades humanas (no solo) são estritamente dependentes. As mudanças na ocupação e uso do solo têm implicações principalmente na infiltração natural

da água no solo e no controle do coeficiente de escoamento superficial (Figura 3.4). O aumento do desflorestamento e dos incêndios florestais sem precedentes, a conversão de áreas de floresta em pastagens, a construção de estradas em florestas, a compactação dos solos devido as práticas e aos veículos pesados utilizados na agricultura e a impermeabilização do solo devido ao desenvolvimento urbano fornecem uma ilustração dos efeitos mais evidentes da mudança da ocupação e uso do solo sobre a gestão dos recursos hídricos (Le Maitre et al., 2014).

Solos que anteriormente à mudança eram majoritariamente compostos por vegetação são substituídos por superfícies impermeáveis ou sem vegetação que aumentam o escoamento superficial e a perda de sedimentos devido a redução da infiltração da água no solo para a recarga dos aquíferos (Le Maitre et al., 2014) (Figura 3.4). Além disso, o transporte do escoamento de fluxos é modificado, a quantidade e a velocidade do escoamento superficial é maior devido a ausência de vegetação ou impermeabilização do solo. Contribuindo para o aumento de fenómenos de cheias e inundações e do transporte de detritos e lamas para as zonas mais baixas que se encontram impermeabilizadas devido ao desenvolvimento urbano centrado nos leitos de cheias, nas várzeas dos rios e nas zonas costeiras da maioria dos países (Wheater e Evans, 2009).

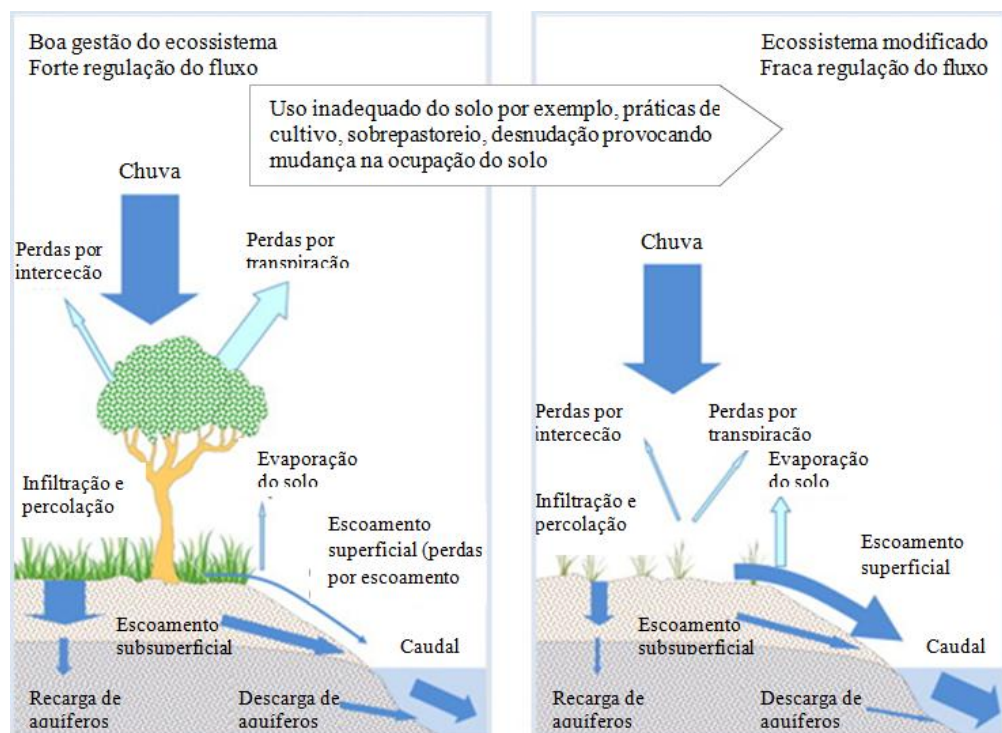


Figura 3.4 – Processos de regulação de fluxo que controla o movimento da água da chuva através do solo, e como ele é afetado pelas mudanças na cobertura do solo mais propriamente mas que adapta as várias impermeabilizações do solo (setas escuras = movimento da água líquida; as setas claras = vapor de água; a largura da seta é proporcional ao volume do fluxo de água) (Adaptado Le Maitre et al., 2014).

A regulação do fluxo é a capacidade das bacias hidrográficas captarem e armazenarem a água da precipitação reduzindo o escoamento direto e os picos de cheias, bem como libertar a água mais lentamente (Figura 3.5). O solo é determinante neste processo. Quando o solo é modificado ou degradado a interação entre a vegetação e a fauna do solo é interrompida e a estrutura do solo entra em colapso e não regula o fluxo de água gerando um maior escoamento superficial. O acréscimo do escoamento resulta num maior volume de água descarregado num intervalo de tempo menor que culmina no aumento potencial dos picos de cheia (Figura 3.5) (Le Maitre et al., 2014; Wheater e Evans, 2009). O pico de cheia proveniente de um solo modificado ocorre mais rápido e com maior intensidade pondo em causa a resposta adequada e atempada por parte das entidades responsáveis tornando-se num desafio para a gestão da vulnerabilidade do território e das pessoas aos riscos naturais. Este fenómeno provoca prejuízos materiais avultados e a mortalidade (Wheater e Evans, 2009).

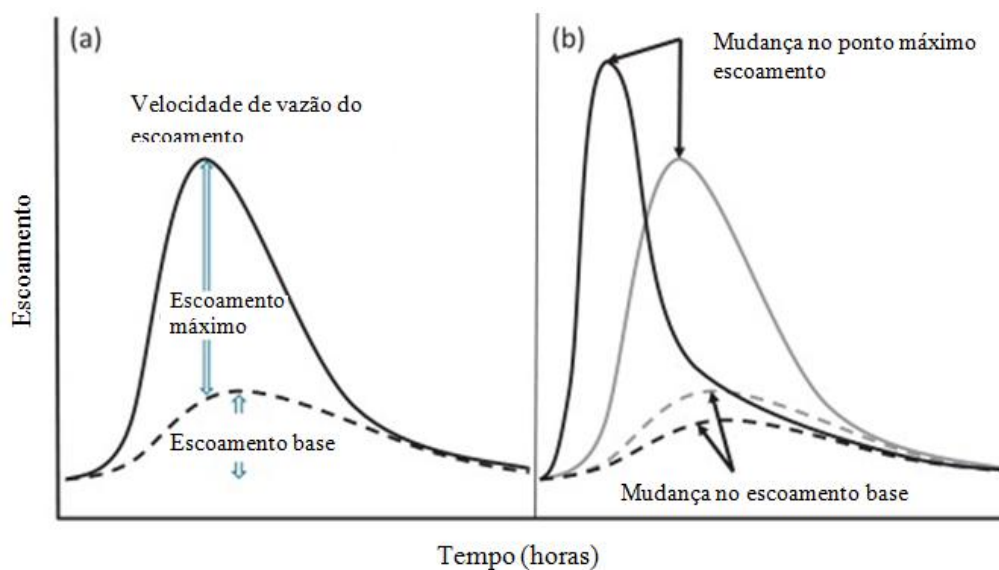


Figura 3.5 – Hidrogramas de inundação que mostram respostas típicas de escoamento de uma bacia num período de chuva. A bacia hidrográfica com uma forte regulação do fluxo (a) é caracterizada por um menor pico de cheia e mais tardia, e com um escoamento mais lento do que uma bacia com fraca regulação de fluxo (b). O escoamento máximo é a componente da água da chuva que atinge a corrente após minutos ou horas da precipitação, enquanto o escoamento base é o fluxo que continua entre os eventos de precipitação e é sustentado pela água armazenada no solo, que é maior numa bacia com boa regulação do fluxo pela bacia (Le Maitre et al., 2014).

Risco de erosão hídrica dos solos

A erosão do solo é um processo chave em ambientes mediterrânicos e encontra-se intimamente relacionado com os fatores biofísicos (litologia, topografia e climatologia) mas também com mudanças na ocupação e uso do solo superando a influência da intensidade da chuva e declividade (García-Ruiz, 2010).

A ocupação do solo é considerada um dos fatores mais importantes na intensidade e frequência do escoamento superficial e erosão dos solos. As principais causas da erosão do solo são as práticas agrícolas inadequadas, a desflorestação, o sobrepastoreio, o abandono dos solos agrícolas, os incêndios florestais e as atividades de construção (Nunes et al., 2011) ligadas as mudanças políticas e culturais, e as pressões exercidas pelo mercados da agricultura e pecuária ao longo do tempo (García-Ruiz, 2010).

De acordo com o programa CORINE, Espanha e Portugal são os países mediterrânicos da União Europeia que enfrentam o maior risco de erosão (Nunes et al., 2011). Em Portugal, as áreas com alto risco de erosão cobrem quase um terço do país (Grimm et al., 2002).

Em Portugal, segundo a análise do escoamento superficial e erosão do solo em função da ocupação do solo do autor Nunes et al., (2011), podemos verificar a influência das várias

ocupações do solo na erosão hídrica dos solos. O escoamento superficial e a erosão do solo no solo ocupado com cereais e árvores jovens apresentam os maiores valores médios enquanto as áreas com carvalho, vegetação arbustiva e pastagens registram o menor coeficiente de escoamento superficial e de erosão do solo. Outros estudos realizados em Espanha (Pirenéus centrais), onde Ruiz-Flaño et al. (1992) e Ruiz-Flaño (1993) (segundo García-Ruiz, 2010) demonstraram que a regeneração da vegetação após abandono do solo agrícola em terrenos inclinados reduziu o escoamento e os sedimentos. Porém a maior parte dos problemas de erosão foram devidos à utilização de fogo para reduzir a presença de vegetação arbustiva e para melhorar a qualidade das pastagens. Na maioria dos acontecimentos que ocorrem na natureza são cíclicos, a relação entre a mudança da ocupação e uso do solo e a erosão não é exceção. A erosão também determina muitas mudanças na ocupação e uso do solo, como é o caso da perda de fertilidade de solos agrícolas pela erosão e consequente abandono por exemplo.

Risco de movimentos de massa em vertentes

Os movimentos de massa em vertentes são reconhecidos e bem documentados como riscos geomorfológicos globais, devido ao seu papel importante na evolução das encostas em áreas de montanha e com impactes económicos, sociais e geomorfológicos. Este risco é resultado da alteração da morfologia do terreno na sequência de acontecimentos que conduzem à rotura e ao movimento de grandes quantidades de rocha ou de solo pela força da gravidade. Os movimentos de massa em vertentes são mais comuns em zonas montanhosas e constituem também uma importante consequência do processo de degradação do solo (Beguería, 2006).

Nos movimentos de massa em vertentes o principal mecanismo impulsionador deste fenómeno é a infiltração de água durante períodos de chuvas intensas e/ou prolongadas, embora outros processos como terremotos ou erupções vulcânicas também possam desempenhar um papel importante em algumas regiões (Beguería, 2006). Atualmente com o aumento das pressões humanas, este processo resulta inevitavelmente da interação entre fatores ambientais e humanos. Segundo Zêzere et al., (1999), as causas de mais de 20% dos deslizamentos de massa são intervenções humanas. As atividades humanas que modificam o ambiente têm tendência para aumentar a fim de permitir maior utilização dos recursos envolvendo para tal medidas como a escavação e sobrecarga dos taludes pela instalação de infraestruturas habitacionais em locais não adequados, construção de

estruturas hidráulicas em rios, a construção ou redimensionamento de canais de transporte de água, a desflorestação e incêndios florestais, práticas agrícolas e mudanças na ocupação e uso do solo com a finalidade de adquirir mais território (Alimohammadlou et al., 2013; Beguería, 2006). As mudanças na ocupação e uso do solo em locais sujeitos a períodos de elevada precipitação ou fenómenos sísmicos são uma combinação que propicia os deslizamentos (Alimohammadlou et al., 2013). Beguería (2006) salienta vários estudos que comprovam o aumento da taxa de ocorrência de deslizamentos de massa em vertentes em resultado das mudanças na ocupação e uso do solo, mais especificamente após a exploração florestal ou desflorestamento. Este mesmo autor na análise das mudanças na ocupação do solo nos Pireneus Espanhóis concluiu que com o aumento da cobertura vegetal após o abandono do solo, a taxa de ocorrência de deslizamentos de massa diminui.

Risco de invasão biológica

A invasão biológica é um fenómeno mundial com efeitos negativos reconhecidos na conservação da biodiversidade nativa e na integridade dos ecossistemas e que acarreta elevados custos económicos para a mitigação deste problema (Vilà e Pujadas, 2001). As invasoras lenhosas também são conhecidas pelo aumento das cargas de combustível nas florestas e pela mudança nos regimes de incêndio (Le Maitre et al., 2014)

As plantas invasoras são plantas naturalizadas que produzem descendência fértil e abundante, com forte potencial de dispersão a partir da planta parental (Richardson et al., 2000). Estudos sobre a invasão biológica ao nível regional têm demonstrado que áreas perturbadas e artificializadas têm maior taxa de invasão que as áreas naturais (Vilà e Pujadas, 2001). As mudanças no uso do solo, como a substituição de ecossistemas naturais por sistemas agrícolas e florestais de produção e as áreas ardidas são meios importantes pelos quais as plantas invasoras se propagam e aumentam (Gerlach, 2004; Vilà e Pujadas, 2001). Por exemplo, a intensificação da agricultura nos EUA levou a um aumento da abundância de plantas invasoras em habitats adjacentes (Vilà e Pujadas, 2001).

As redes de transportes (por exemplo, rodovias, ferrovias, etc) também aumentam as taxas de disseminação de novas espécies e das já existentes que se naturalizam rapidamente nos novos habitats. O aparecimento de plantas invasoras próximo das redes de transporte surge no processo de turbulência criada pela passagem de carros e comboios que aumenta a dispersão das plantas (Vilà e Pujadas, 2001).

Risco de incêndio florestal

As políticas e tendências dos últimos anos alteraram a forma como se explora o solo refletindo-se no aumento do risco de incêndio. Embora os incêndios tenham um papel natural nos ecossistemas, suscitam cada vez mais importância e preocupação já que atualmente tem aumentado a sua frequência mas também a sua intensidade.

O uso tradicional do solo tinha um papel fundamental na manutenção e limpeza das florestas e contribuía para a diminuição da acumulação de combustíveis e fontes de ignição dos incêndios. Este modo de uso do solo tem-se vindo a perder com o abandono desta prática devido as desvantagens competitivas dos terrenos em zonas de montanha. Quando o solo agrícola é abandonado é iniciado um processo de sucessão para áreas de matos que tem maior risco de incêndio. Este é um processo complexo, no qual diferentes variáveis interagem, como as condições ecológicas e biofísicas, a atividade humana (a história agrícola e florestal das parcelas) e o tempo (Nunes et al., 2011). A redução da população que vivia da floresta e da agricultura tradicional principalmente nas áreas de montanha contribui para a diminuição da deteção dos incêndios e a perda de mão-de-obra para trabalhar os espaços agroflorestais. Mas não é só a mudança da ocupação e uso do solo que aumenta o risco de incêndio, os próprios incêndios contribuem para as mudanças do solo.

4 METODOLOGIA

O presente trabalho centra a unidade de análise na bacia hidrográfica do rio Vez e teve como objetivos:

- i. identificação e caracterização da dinâmica e dos padrões das mudanças na ocupação e uso do solo na bacia hidrográfica do rio Vez em dois períodos de tempo, entre 1990 e 2012 através de matrizes de transição;
- ii. identificação e localização dos principais processos de mudança da ocupação e uso do solo;
- iii. identificação dos principais promotores de alteração da ocupação e uso do solo;
- iv. elaboração de três cenários de ocupação e uso do solo para 2020 e análise das mudanças ocorridas através do modelo *Land Change Modeler* (LCM);
- v. e resumo das consequências mais significativas da mudança em relação à dinâmica e ao futuro da paisagem.

A fim de realizar os objetivos deste trabalho foram utilizados dois *softwares*: o ArcGis 9 e o IDRISI Selva. As seções seguintes explicam a metodologia e os diferentes componentes da análise utilizados neste trabalho.

4.1 O projeto IND_CHANGE

O presente trabalho está inserido no âmbito do projeto IND_CHANGE e utiliza como área de estudo, uma das áreas piloto do projeto: a bacia hidrográfica do rio Vez.

O projeto IND_CHANGE é projeto colaborativo que envolve vários parceiros como cientistas e representantes das instituições de gestão territorial e visa proporcionar uma visão integrada para a gestão territorial, através da aplicação e melhoramento das várias ferramentas de modelação sob uma estrutura teórica e computacional comum e de uma abordagem espacial e temporalmente explícita. O foco será na melhoria da capacidade de prever com precisão os padrões dos indicadores ecológicos e as suas respostas (no espaço e no tempo) para os promotores e pressões em cenários alternativos de utilização do solo.

O projeto tem como área de estudo as bacias dos dois rios de médio porte do Norte de Portugal, total ou parcialmente incluídas em sítios Natura 2000: toda a bacia hidrográfica do rio Vez (Noroeste), e a bacia superior do rio Sabor (Nordeste). Estas duas bacias representam um grande contraste climático na região e uma heterogeneidade de habitats e

biodiversidade, função da vegetação (por exemplo, a produção primária), propriedades da paisagem (por exemplo, a resiliência às perturbações) e dinâmica social-ecológica (por exemplo, padrões de uso do solo e atividades económicas emergentes). Estas áreas já foram utilizadas em anteriores pesquisas e possuem disponíveis grandes bancos de dados nos diversos parceiros do projeto. Além disso, para ambas as áreas há uma história de anterior colaboração entre os parceiros científicos e as autoridades locais envolvidas no projeto.

4.2 Apresentação e descrição da informação base

Neste trabalho foi utilizada uma ampla base de dados geográficos provenientes de diferentes fontes e com diferentes características (Tabela 4.1). Sendo a informação de base e a sua qualidade determinantes para a obtenção dos objetivos predefinidos. Assim para desenvolvimento deste projeto utilizou-se: dados de referência como a rede geodésica, rede viária, rede hidrográfica, nomes de lugares, edifícios e outros elementos humanos e informação temática que inclui informação das áreas ardida, clima, geologia, solos, água, entre outros e dados da população, atividades económicas, exploração de recursos e áreas de proteção ambiental e classificadas, no âmbito do ordenamento do território.

Tabela 4.1 – Informação base utilizada na realização deste trabalho.

Data	Data type	Resolução/Escala	Data	Fonte
Limites administrativos	Shapefile	1:25000	2013	IGP
Toponímia	Shapefile	1:25000	2012	IGeoE
Rede viária	Shapefile	1:25000		IGeoE
Hidrografia	vector	1:25000	1997	DGT
Precipitação e temperatura	Shapefile	100k	1995	IPVC
Insolação e humidade do ar	Shapefile	1000k	1974	APA
Solo	Shapefile	25k		DRAEDM
Geologia	Shapefile	50k		IGM/DG/ME
Áreas protegidas	Shapefile	100k	2009	ICNF
Rede natura 2000	Shapefile	100k	2008	ICNF
RAN e REN	Shapefile	10k	2001	INE
Áreas ardidas	Shapefile	25k	1990-1999; 2000-2009, 2010,2011, 2012	AFN
Regime florestal	Shapefile			VALIMAR
COS	Shapefile		1990, 2000 e 2012	IPVC

Para avaliar as mudanças de ocupação e uso do solo na bacia hidrográfica do rio Vez foram utilizadas as Cartas de Ocupação e Uso do solo (COS) para três datas temporais: 1990, 2000 e 2012. As cartas foram produzidas no âmbito do projeto IND_CHANGE e a assumindo os critérios utilizados na Carta Portuguesa de Ocupação e Uso do Solo (COS'90). Estas cartas foram obtidas pelo processo fotointerpretação à escala 1:25k usando

uma unidade mínima cartográfica (UMC) de 0,5 hectares, O sistema de referência geográfica é ETRS89/PT-TM06. Esta metodologia acrescenta unidades de paisagem em classes que compartilham os conceitos de ocupação e uso do solo de modo a permitir a comparação e análise da evolução no período de 1990, 2000 e 2012. A nomenclatura é parcialmente combinatória com três tipos de categorias de base em diferentes descritores e regras (áreas artificiais, zonas húmidas, massas de água, áreas agrícolas e áreas florestais). Devido ao seu grande número (de um total de 940 combinações), cada categoria possui uma "imagem" ou código composto no máximo por 3 letras estruturado de acordo com as regras sintáticas. A legenda adotada no projeto IND_CHANGE esta organizado em dois níveis hierárquicos e é composta por 56 classes e acompanha o segundo nível da lenda COS'90 (página 107, AnexoA V).

As categorias das COS observadas e consideradas para este trabalho foram as seguintes: Pomar [A], Culturas anuais [C], Eucalipto [E], Outras folhosas [F], Superfícies com água [H], vegetação arbustiva e herbácea [I], Áreas sem ou com pouca vegetação [J], Improdutivos [JJ], Olival [O], Pinheiro bravo [P], Carvalho [Q], Outras resinosas [R], Infraestruturas e equipamentos [S], Espaço urbano [U] e Vinha [V].

4.3 Análise da mudança da ocupação e uso do solo

Na análise da ocupação e uso do solo, o tempo não pode ser estudado como uma variável contínua foi necessário criar momentos temporais referenciadores para analisar e caracterizar as dinâmicas ocorridas na ocupação e uso do solo. A série temporal divide-se em três momentos em função das datas das Cartas de Ocupação e Uso do Solo utilizadas, ou seja, no ano 1990, 2000 e 2012. A análise da evolução da ocupação e uso do solo foi realizada entre 1990 e 2000 (1º momento temporal) e entre 2000 e 2012 (2º momento temporal) e concretizou-se através de matrizes de transição que possibilitaram a obtenção de dados estatísticos sobre as mudanças nas categorias da ocupação e uso do sol. A análise e a obtenção das matrizes de transição foram efetuadas no *software* ArcGis versão 9.3 através da ferramenta “*Analysis Tools*”.

4.4 Predição da mudança da ocupação e uso do solo pelo modelo *Land Change Modeler* (LCM)

O modelo *Land Change Modeler for Ecological Sustainability* do software IDRISI oferece um conjunto de ferramentas que facilitam o processo de análise e predição das mudanças de ocupação e uso do solo, a estimativa dos gases de efeito estufa (GEE), reduções das emissões para projetos *Reducing Emissions from Deforestation and Forest Degradation* (REDD) e a avaliação dos impactos da mudança da ocupação e uso do solo sobre a biodiversidade e habitat. Este modelo surge devido ao crescente aumento das mudanças no solo nos últimos anos e para dar resposta as necessidades de organizações de conservação como *Conservation International* e *Wildlife Conservation Society*. Este programa ainda permite a incorporação de uma variedade de dados, tais como dados ambientais ou socioeconómicos que permitem a aproximação do modelo a realidade do ecossistema.

O *Land Change Modeler* está organizado sequencialmente em torno de grandes áreas de trabalho: análise da mudança, previsão da mudança, impacto das mudanças nos habitats e biodiversidade, planeamento da ocupação e uso do solo e modelação de projetos REDD (Figura 4.1) (Clark Labs, 2012).

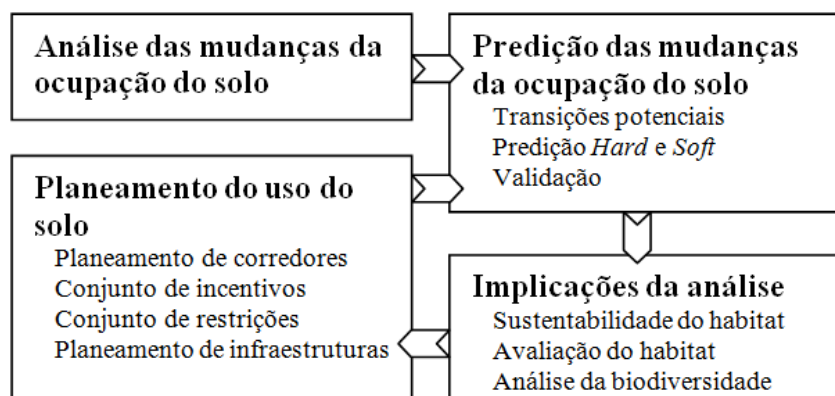


Figura 4.1 – Organização da linha de análise da mudança da ocupação do solo. (Adaptado de Clark Labs, 2009).

Neste trabalho utilizou-se este modelo para a elaboração dos cenários de predição e análise das possíveis mudanças da ocupação do solo, mais propriamente a secção de análise da mudança (*Change Analysis*) e a previsão da mudança (*Change Prediction*). O primeiro passo é analisar as mudanças históricas entre dois mapas de ocupação e uso do solo, entre 1990-2000 e 2000-2012.

Neste modelo pode-se visualizar, quantificar e avaliar as transições de um estado do solo para outro (por exemplo, mudanças de floresta para agricultura) e ainda a persistência e tendencial espacial dessas transições (Clark Labs, 2012). Após a análise mudanças históricas, o LCM permite a modelação empírica das mudanças de ocupação e uso do solo. As principais transições da mudança da ocupação e uso do solo no passado devem ser identificadas e relacionadas com as variáveis explicativas e as influenciam as transições que podem ocorrer (Leh et al., 2011). Ainda é possível introduzir incentivos/restrições ao uso do solo. As restrições servem para limitar as alternativas consideradas. Um bom exemplo de restrições é as reservas naturais assim como outros condicionamentos presentes no Plano Diretor Municipal (PDM).

O *Land Change Modeler* é uma ferramenta muito útil para elaboração de cenários preditivos da ocupação e uso do solo. A predição foi realizada em duas fases:

i. **Validação**

A validação do modelo (Figura 4.2) teve como objetivo avaliar o desempenho do modelo. Para isso foi comparada a carta real de ocupação e uso do solo de 2012 (T3) e a previsão para 2012 (T3) obtida através da modelação da carta de ocupação e uso do solo de 1990 (T1) e de 2000 (T2) que resulta num mapa de erro (Baysal, 2013; Eastman, 2012; Sahalu, 2014). Esta etapa tem como finalidade avaliar a capacidade do modelo em prever as mudanças do fenómeno em estudo.

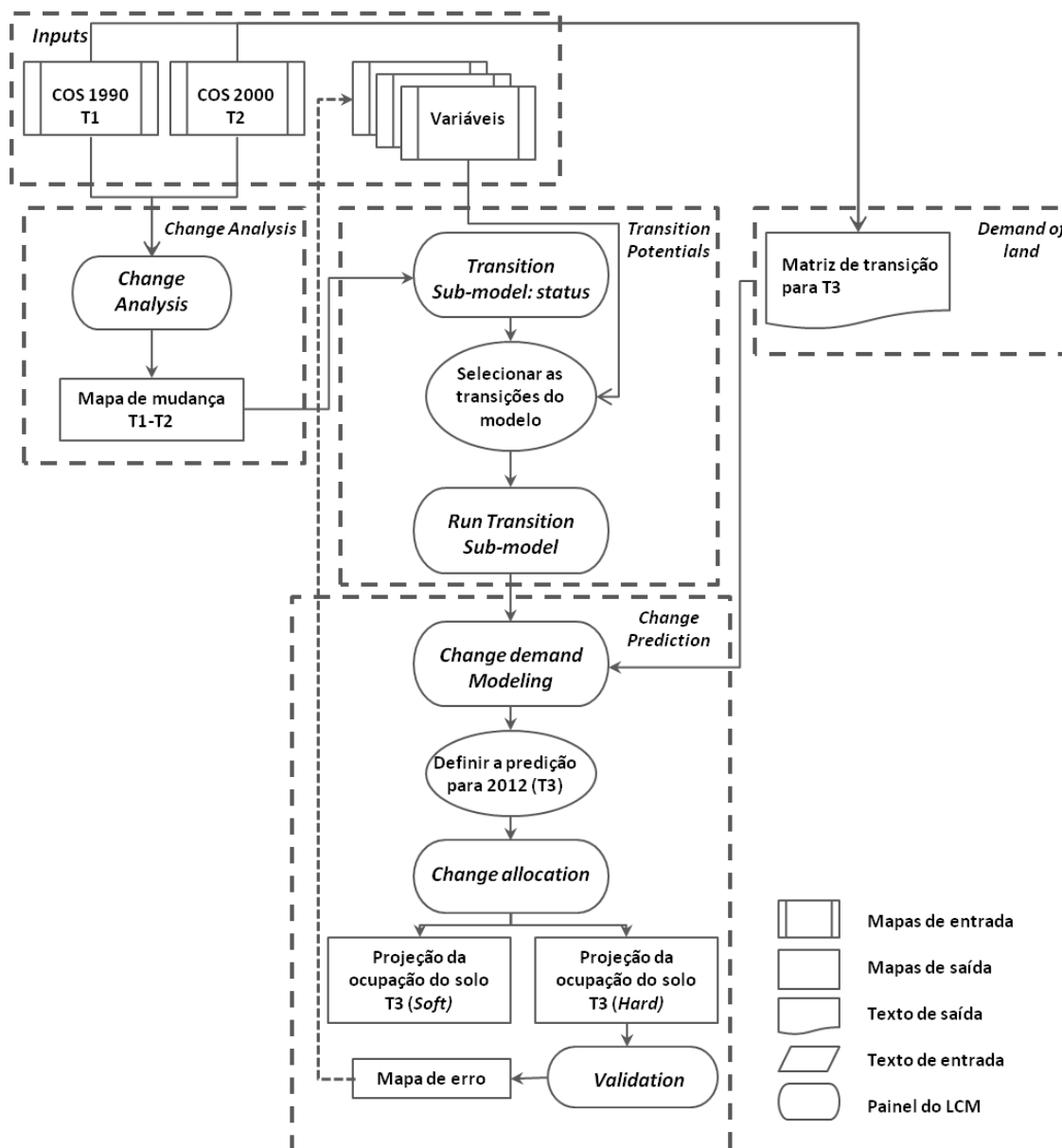


Figura 4.2 – Metodologia para validação do modelo de *Land Change Modeler* para Bacia hidrográfica do rio Vez. (Adaptado Eastman, 2012).

ii. Predição

A predição das mudanças de ocupação e uso do solo para o ano de 2020 foram executadas através de cenários que fornecem imagens alternativas de como o futuro pode ser desdobrado. Para a modelação dos cenários de ocupação e uso do solo foi utilizado o mapa de erro obtido na validação do modelo como variável e são utilizadas as cartas de ocupação e uso do solo de 2000 (T2) e a carta de ocupação e uso do solo de 2012 (T3) (Figura 4.3).

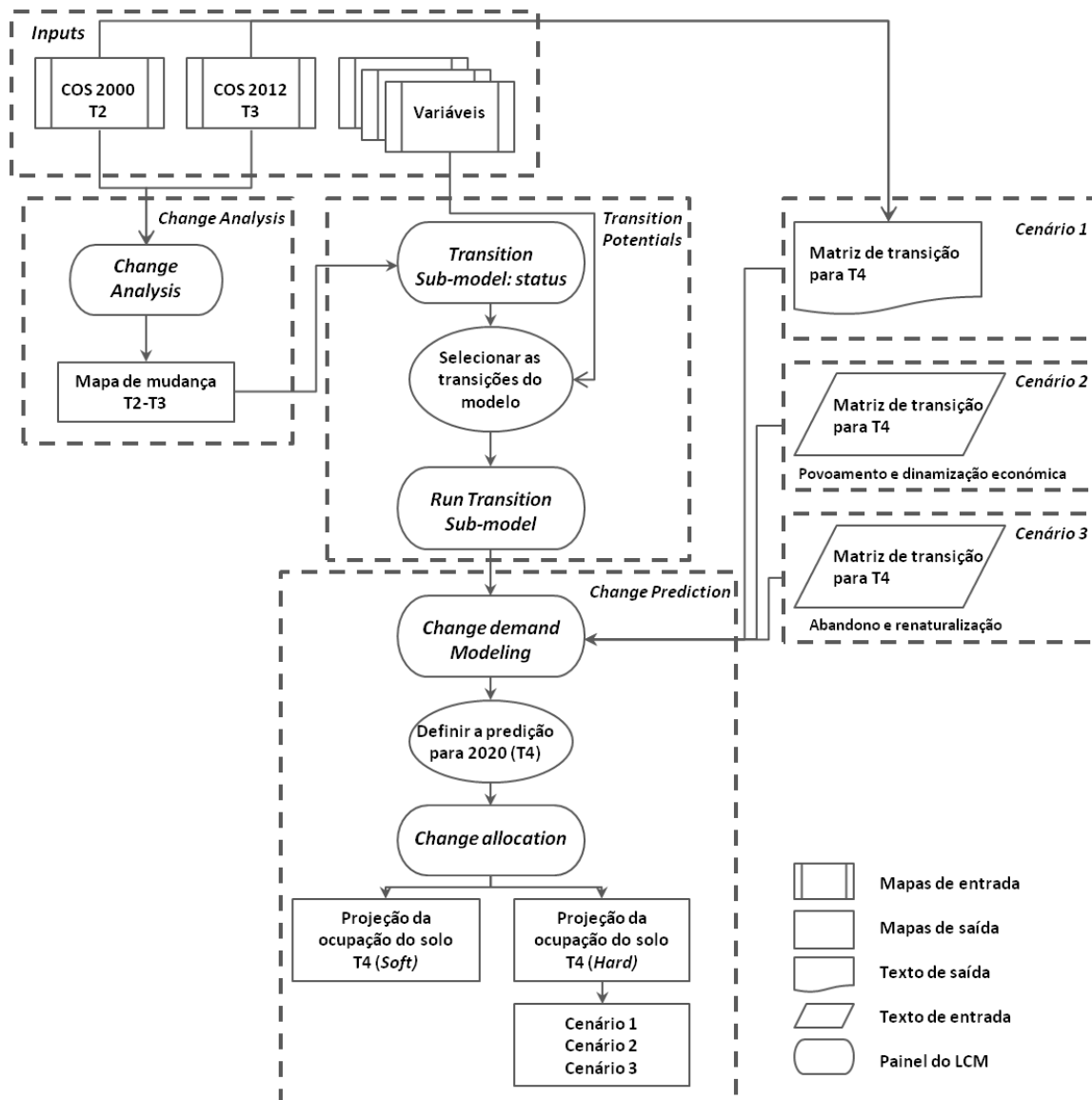


Figura 4.3 – Metodologia utilizada na modelação da previsão da ocupação do solo para o ano de 2020. (Adaptado Eastman, 2012).

Na previsão da ocupação e uso do solo para 2020 foram definidos três cenários. Na formulação dos cenários para 2020 consideram-se a manutenção, ou então, alterações não significativas e continuidade das opções territoriais no que se refere à manutenção das áreas de espaços protegidos mas também nas opções dos planos diretores municipais, de natureza especial e sectorial bem como, na relação com os espaços transfronteiriços. Desta forma os cenários mudam em situações e dinâmicas opostas ou divergentes de reforço da dinamização das atividades económicas de natureza produtiva que se vão relacionar com as dinâmicas populacionais e demográficas. Neste quadro consideram-se mudanças potenciais de ocupação e uso do solo seja no sentido do reforço das classes de natureza produtiva e classes de espaço seminaturais.

Neste sentido, consideram-se além do cenário de continuidade (1) associado à continuidade das tendências destas últimas décadas o cenário 2 e o cenário 3.

O Cenário 2 designado por povoamento e dinamização económica possui uma forte aposta das políticas e programas públicos e das entidades privadas na aposta na manutenção e dinamização agrícola e agroindustrial, de florestação com vista a uma exploração de uso sustentável, seja na produção e em todos os usos múltiplos, bem como nas dinâmicas de reforço da exploração de recursos naturais (geologia, energia, água,), em equipamentos e atividades turísticas e inclusive na própria industrialização; estas mudanças deverão resultar no aumento da população e consequentemente na potencial expansão das classes urbanas; A predição da mudança da ocupação do solo para 2020 neste envolveu a conceção de uma nova matriz de transição este cenário que traduz as possíveis mudanças em função das políticas e demanda pelo solo.

O cenário 3 (Abandono e renaturalização) é um cenário muito associado à diminuição populacional e envelhecimento destes espaços do interior e marginais às dinâmicas de desenvolvimento, mesmo regionais, independentemente da capacidade de promoção das centralidades locais de vale; neste ponto espera-se uma perda potencial das atividades e classes produtivas, aumentos dos riscos e dos processos de degradação, como sejam as invasoras lenhosas; esta potencial tendência de renaturalização implica considerar a natureza e dimensão de algumas taxas de transição independentemente da complexidade e dificuldade de estabelecer a linearidade das direções expectáveis. Na elaboração deste cenário também envolveu a conceção de uma nova matriz de transição que traduz as possíveis mudanças das políticas e demanda pelo solo.

A validação e predição utilizaram o modelo LCM que usa um processo de três estágios (painéis) para modelar a mudança da ocupação e uso do solo entre dois períodos de tempo e para prever o futuro da ocupação do solo:

1. Análise da mudança

Este primeiro separador contém como requisito mínimo a especificação de dois mapas de ocupação e uso do solo que são utilizados como base para a compreensão e quantificação das mudanças que ocorreram na área de estudo e os meios que determinaram as transições que devem ser modeladas. O primeiro passo é analisar através de matrizes de transição (Tabela 4.2), as transições de ocupação do solo entre 1990 e 2000 e entre 2000 e 2012 e identificar as transições mais significativas neste processo de mudança. Esta fase é muito

importante porque define as transições que vão ser tidas em conta na fase seguinte. Quando é difícil avaliar o padrão dessas mudanças históricas, existe uma ferramenta “Spatial trend of change” que permite criar um mapa espacial de tendência para mudança escolhida. Ainda no “change map” foi determinado a fim de ter um número suficiente de observações nos conjuntos de treinamento e teste que apenas são consideradas significativas as transições com 66 hectares ou mais. Os 66 hectares representam 0,25% da área de estudo e existem 37 transições com valor igual ou superior a 66 hectares que representam 80% do total da mudança entre 2000 e 2012.

Tabela 4.2 – Estruturas das matrizes de transição. (Adaptado de Marinelli, 2010).

		Tempo 2						Total Tempo 1	Perdas
		Ocupação do solo 1	Ocupação do solo 2	do	...	...	Ocupação do solo n		
Tempo 1	Ocupação do solo 1	$S_{1,1}$	$S_{1,2}$				$S_{1,n}$	S_{1+}	$L_1 = S_{1+} - S_{1,1}$
	Ocupação do solo 2	$S_{2,1}$	$S_{2,2}$						$L_2 = S_{2+} - S_{2,2}$
	...								...
	Ocupação do solo n	$S_{n,1}$	$S_{n,2}$				$S_{n,n}$	S_{n+}	$L_n = S_{n+} - S_{n,n}$
Total tempo 2		S_{+1}	S_{+2}		...	...	$S_{n,1}$	S_{+n}	
Ganhos		$G_1 = S_{+1} - S_{1,1}$	$G_2 = S_{+2} - S_{2,2}$		...	...	$G_n = S_{+n} - S_{n,n}$		
Variação líquida Ganhos-perdas		$G_1 - L_1$	$G_2 - L_2$			...	$G_n - L_n$		
Total de mudança Ganhos + perdas		$ G_1 + L_1 $	$ G_2 + L_2 $		...	...	$ G_n + L_n $		

2. Transições potenciais

O passo seguinte foi a elaboração dos mapas de transição potencial através dos submodelos definidos anteriormente e incluído as variáveis na análise (Godoy e Rojas, 2013; Marinelli, 2010; Pijanowski et al., 2002; Sangermano et al., 2012) assumindo os como determinantes na mudança do uso do solo. As principais variáveis que influenciam a tendência da mudança são a distancia às estradas, linhas de água e as áreas urbanas, os declives e o modelo digital do terreno, (Eastman et al., 1995; Marinelli, 2010; Pijanowski et al., 2002; Sangermano et al., 2012) (Tabela 4.3).

Tabela 4.3 – Variáveis utilizadas na modelação dos cenários de mudança da ocupação e uso do solo.

Variável		Fonte
Acessibilidade	Distância às estradas	Rede Viária - Estradas; Informação extraída da cartografia da Série M888 - Cartografia Militar - IGeoE
	Distância às áreas urbanas e infraestruturas	COS 1990 – IPVC COS 2000 - IPVC
Perturbações	Distância às áreas aridas 1990 e1999	Cartografia nacional de áreas aridas de 1990 a 1999 - AFN
	Distância às áreas aridas 2000 e 2009	Cartografia nacional de áreas aridas de 2000 a 2009 - AFN
Socioeconómicos	<i>Evidence likelihood</i> da taxa de variação da população	CENSOS 1991, 2001,2011 - INE
Biogeográficos	Distância as linhas de água	Rios e Linhas de água (25k) em rede; Classificação de linhas de água (STHA) - IGeoE
	<i>Evidence likelihood</i> do clima	Zonagem Climática para a Região do Entre-Douro e Minho (EDM), de acordo com a Carta de Solos e Aptidão da Terra do EDM - IPVC
	<i>Evidence likelihood</i> precipitação	Precipitação para a Região do Entre-Douro e Minho (EDM), de acordo com a Carta de Solos e Aptidão da Terra do EDM - Precipitação Média Anual (mm) - IPVC
	<i>Evidence likelihood</i> do solo	Carta de Solos e carta da aptidão da terra de Entre-Douro e Minho. Direcção Regional de Agricultura de Entre-Douro e Minho - IPVC
	TIN	

Os declives e o modelo digital do terreno são um fator importante no desenvolvimento do solo, pois afeta o tipo e a distribuição da ocupação e do uso do solo. Os declives estão divididos em 6 classes em percentagem que foram reclassificadas (Tabela 4.4) e o modelo digital do terreno foi elaborado em 9 classes (Tabela 4.5).

Tabela 4.4 – Classificação da carta de declives para bacia hidrográfica do rio Vez

Classes (%)	0-2	2-6	6-12	12-25	25-45	45-150
Reclassificação	1	2	3	4	5	6

Tabela 4.5 – Classificação do modelo digital do terreno.

Classes (%)	0-160	160-300	300-450	450-600	600-700	700-850	850-1000	1000-1200	1200-1450
Reclassificação	1	2	3	4	5	6	7	8	9

O zonamento da precipitação na área de estudo está dividido em três zonas de precipitação: 2000-2400 mm, 2400 e 2800 mm e mais de 2800 mm e o zonamento climático está dividida em 6 zonas climáticas em função da temperatura média anual, da temperatura media mais quente e da altitude (Tabela 4.6).

Tabela 4.6 – Temperatura média anual e altitude das zonas climáticas da bacia hidrográfica do rio Vez.

Zona climática		Temperatura média anual (°C)	Temperatura média mês mais quente (°C)	Altitude (m)
Temperada fria	Alta montanha	$T \leq 9,5$		> 1200
	Montanha	$9,5 < T \leq 10,5$		900 - 1200
Terra Temperada Fria (F)		$10,5 < T \leq 12,5$		600-900
Terra de Transição (T)		$12,5 < T \leq 14,0$		400-600
Terra Temperada Quente (Q)	Atlântica (Qa)	$14,0 < T \leq 16,0$	<20	250-400
	Litoral (QI)	$14,0 < T \leq 16,0$	> 20	<250

As variáveis espaciais ajudam a explicar a distribuição das classes na área de estudo. As variáveis que entram no modelo devem ser contínuas e quantitativas (Pechanec, n.d.). As variáveis podem ainda ser dinâmicas ou estáticas. Variáveis estáticas expressam aspetos de adequação de base para a transição em questão, e não estão mudando ao longo do tempo. Considerando que as variáveis dinâmicas são dependentes do tempo, tais como a

proximidade a áreas em desenvolvimento ou de infraestruturas existente e são recalculadas ao longo do tempo durante o decurso da previsão.

Algumas variáveis discretas ou categóricas foram geradas por análise *Evidence likelihood* no painel “Variable Transformation Utility”. O painel “Variable Transformation Utility” é um painel opcional para a transição potenciais de modelação que oferece uma seleção de transformações. As transformações disponíveis são: *Evidence likelihood*, *Exponential* (e), *Square root*, *Natural log* (ln), *logit*, *Power* (Eastman, 2012). A transformação *Evidence likelihood* é um meio muito eficaz de incorporar variáveis categóricas na análise. Com esta transformação é possível ter uma variável quantitativa criada a partir de uma variável categórica. (Eastman, 2012). Este tipo de análise estima a probabilidade de transição de classes em cada unidade (polígono) baseado no historial de mudanças e um índice de mudança (Godoy e Rojas, 2013). A transformação *Evidence likelihood* requer duas entradas: um mapa das áreas que passaram pelas transições que estão a ser modeladas e a variável categórica ou uma variável contínua. O procedimento analisa a frequência relativa de pixels pertencentes às diferentes categorias dessa variável dentro das áreas de mudança (Eastman, 2012).

No painel “*Test and selection of site and driver variables*” foi testado o potencial de cada variável. É importante testar o poder explicativo das variáveis e a relação estatística entre o modelo e a variável explicativa. Os indicadores estatísticos associados a este teste é de *Cramer’s V* e *p value*. O valor de *Cramer’s V* difere entre 0 e 1e quanto maior for o valor maior é o valor explicativo potencial da variável. Um valor de *Cramer’s V* é bom, mas não garante um bom desempenho, uma vez que não pode dar conta dos requisitos matemáticos da abordagem da modelação utilizados e da complexidade dos relacionamentos. No entanto, é uma boa indicação de que uma variável pode ser descartada quando o *Cramer’s V* é baixo (Pechanec, n.d.). Se o valor de *Cramer’s V* das variáveis for maior do que 0,15, é uma variável utilizável, que pode ser implementada no modelo (Marinelli, 2010; Pechanec, n.d.). Isto posto, todas as variáveis cujo valor de *Cramer’s V* é superior ou igual a 0,15 foram utilizadas como variáveis nos submodelos correspondentes.

O valor de p expressa a probabilidade de que *Cramer’s V* não é significativamente diferente de 0. Dadas as grandes amostras frequentemente envolvido, o valor de p é geralmente 0, assumindo que todos os pixels são amostrados de forma independente e sem dependência espacial. Assim, um baixo valor de p não é um bom indicador da variável,

mas um valor elevado é um sinal claro de que ela pode ser rejeitada (Eastman, 2012; Pechanec, n.d.).

Para geração das transições potenciais no painel “*Run Transition Sub-Model*” utilizou-se o *Multi-layer perceptron* (MLP) *neural network* (Leh et al., 2011; Marinelli, 2010; Sangermano et al., 2012). O MLP (Figura 4.4) é um algoritmo não-paramétrico que permite relacionamentos complexos, independentemente da presença de multicolinearidade, ou seja, existência de uma forte correlação entre duas (ou mais) variáveis independentes, ou a inclusão de variáveis insignificantes (Bishop, 1995; Sangermano et al., 2012). Os pesos em uma *neural network* são determinados por meio de um algoritmo de treinamento (Pijanowski et al., 2002). Para o treinamento adequado do modelo MLP, as amostras de treinamento devem ser capaz de identificar os relacionamentos entre a mudança de cobertura do solo e variáveis.

O mínimo de células que transitaram entre as categorias de 1990 e 2012 de cada submodelo foram utilizados em partes iguais como amostras de treinamento e de teste da mudança. O modelo para ser validado a precisão resultante do MLP deve ser igual ou superior a 75%, caso contrário é recomendado um novo treinamento com variáveis explicativas modificadas (Pechanec, n.d.)

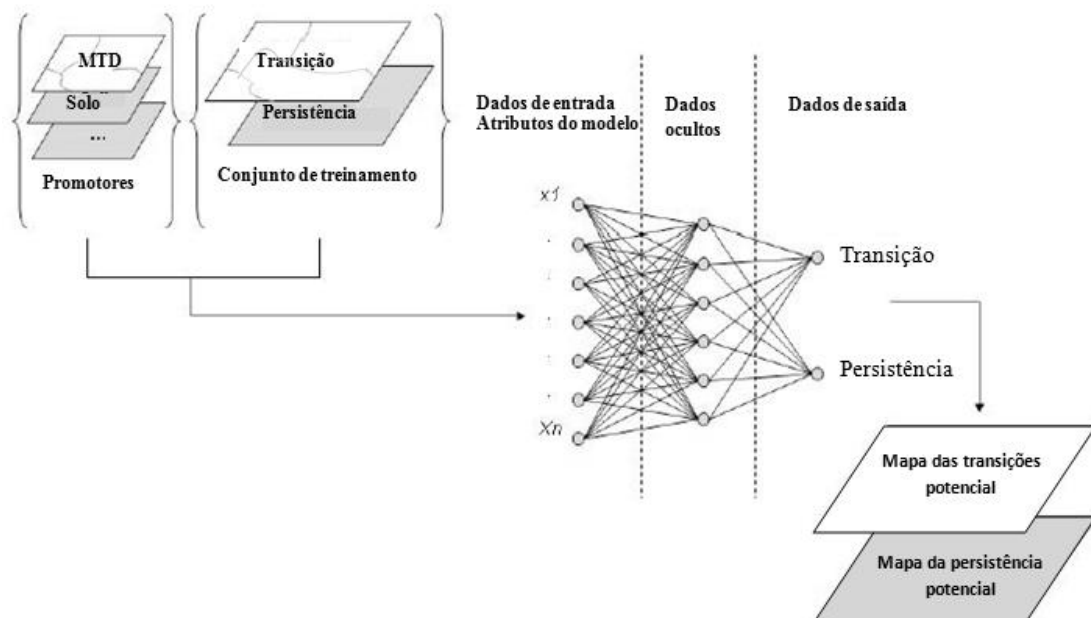


Figura 4.4 – Esquema do funcionamento da modelação da transição dos submodelos pelo método *Multi-layer perceptron* (MLP). (Adaptado de Marinelli, 2010)

Para garantir que o modelo de predição não utiliza informações irrelevantes durante foram reduzidas o número de variáveis causais. Para isso, em cada submodelo foram usadas apenas as variáveis com *Cramer's V* maior do que 0,15 e um valor de p igual a 0 e o mapa de erro resultante da validação do modelo. As variáveis usadas em cada submodelo são mostradas na Tabela 4.7 com o respectivo valor de *accuracy rate* que traduz a qualidade do ajuste avaliado com o MLP para cada submodelo. Todos os modelos parecem ser aceitáveis.

Tabela 4.7 – Variáveis dos modelos de transição potencial na previsão da ocupação do solo para 2020.

Submodelos de transição	Variáveis	Accuracy rate (%)
C-Q	Distância às estradas, TIN, taxa de população* e zonamento climático*	100
I-E	TIN, solos*, taxa de população* e zonamento climático*	85,64
I-J	Distância às estradas, TIN, taxa de população*, solos* e precipitação	50,07
I-P	Solos*	49,60
I-Q	Distância às estradas, TIN, taxa de população*, zonamento climático*, solos*	99,44
J-I	Distância às estradas, TIN, taxa de população*, solos*, precipitação	98,96
P-F	Áreas ardidas, solos, declives e TIN	100
P-I	Solos*	50,28
P-Q	Distância às estradas, TIN, taxa de população* e zonamento climático*	92,56
Q-C	Distância às estradas, TIN, taxa de população* e zonamento climático*	80,18
Q-F	Distância às estradas, TIN, taxa de população* e zonamento climático*	77,18
Q-I	Distância às estradas, TIN, taxa de população*, zonamento climático* e solos*	97,06
Q-P	Distância às estradas, TIN, taxa de população*, zonamento climático*	82,07
C-I	Solos*	100

* Variáveis categóricas transformadas em quantitativa por análise *Evidence likelihood*

3. Predição da mudança

O painel “*Change Demand Modeling*” permite escolher a data da predição e o modelo determinar a quantidade de mudança que irá ocorrer para essa data usando as Cadeia de Markov ou um modelo especificado. As cadeias de Markov determinam a quantidade de mudança utilizando os mapas anteriores e posteriores de ocupação do solo, juntamente com a data especificada. O processo determina exatamente a quantidade de solo que seria esperado para a transição a partir da última carta de ocupação do solo à data de previsão com base numa projeção dos potenciais de transição para o futuro e cria um ficheiro de probabilidades de transição. O ficheiro de probabilidades de transição é uma matriz que regista a probabilidade de que cada categoria de ocupação do solo mudar para todas as outras categorias. Alternativamente é possível especificar um arquivo de probabilidade de transição desenvolvido a partir de um modelo externo ou editar a matriz usada pelo modelo

e guardar (Eastman, 2012). Só após a conclusão da modelação de todas as transições potenciais no painel “*Run transition sub-model*” é possível executar a previsão de mudança.

O “*Change Allocation*” possibilita a produção de dois tipos de mapas: um mapa de previsão *hard* que expressa o que realmente mudou e um mapa de previsão *Soft*, que fornece uma avaliação abrangente do potencial de mudança, ou seja, um mapa da vulnerabilidade à mudança para o conjunto selecionado de transições que traduz o potencial que uma determinada área tem para mudar no futuro. A previsão *soft* é muito importante para a identificação de áreas de alto risco: uma importante preocupação da gestão e planeamento do solo. O mapa de potencial de transição são importantes para o processo de predição juntamente com as quantidades previstas das mudanças obtidas pela análise de Cadeia de Markov. A alocação específica da mudança é, então, alcançada por um processo de competição pelo solo multi-objectivo com recálculo intermédio das variáveis dinâmicas (como a proximidade aos distúrbios) e da transição associada aos mapas potenciais.

Ainda neste painel, após a execução da previsão de mudança, ainda é possível realizar a Validação das previsões obtidas. O painel de “*validation*” permite determinar a qualidade da previsão do uso do solo para uma data estabelecida em relação a um mapa real de ocupação do solo dessa data. Na fase 1 da modelação utilizamos esta ferramenta para validar o modelo utilizando a carta de ocupação e uso do solo 2012 e a previsão para essa mesma data. O mapa de erro resultante ilustra a precisão dos resultados do modelo, onde:

A | B | B = Acertou (verde) - Modelo previu mudança e mudou

A | A | B = Falhou (vermelho) - O modelo previu persistência e mudou

A | B | A = Falso alarme (amarelo) - O modelo previu a mudança e persistiu

5 ANÁLISE DE RESULTADOS

5.1 Caraterização da bacia hidrográfica do rio Vez

5.1.1 Enquadramento

O planeamento e a gestão das massas de água em Portugal têm por base a bacia hidrográfica como estrutura territorial. Este conceito foi introduzido pela Lei da Água (n.º 2 do art. 3.º). A sua delimitação geográfica apresenta em consideração as especificidades regionais, assentes nas assimetrias territoriais em termos de variabilidade espacial e temporal da quantidade e qualidade da água.

A região hidrográfica é constituída por uma ou mais bacias hidrográficas e pelas águas subterrâneas e costeiras que lhes estão associadas. Em Portugal Continental existem oito regiões hidrográficas, sendo quatro destas partilhadas com Espanha: Minho e Lima, Douro, Tejo e Guadiana. A região hidrográfica Minho-Lima (Região hidrográfica 1) integra o Plano de Gestão das Regiões Hidrográficas do Norte em paralelo à região hidrográfica do Cávado, Ave e Leça e a região hidrográfica do Douro. A região hidrográfica do Minho e Lima engloba a bacia hidrográfica do rio Minho, a bacia hidrográfica do rio Lima, a bacia hidrográfica do rio Âncora, a bacia hidrográfica do rio Neiva, a bacia hidrográfica das ribeiras da costa ao longo da região hidrográfica e as massas de água subterrâneas, de transição e costeiras adjacentes. Esta região hidrográfica é delimitada pelo território espanhol a Este e Norte, pelo oceano Atlântico a Oeste, pela região hidrográfica do Douro a Sudeste e a sub-bacia do Cávado a Sul.

A área de estudo, a bacia hidrográfica do rio Vez, pertence a região hidrográfica Minho e Lima, mais propriamente à bacia hidrográfica do rio Lima. A bacia hidrográfica do rio Vez possui uma área de 262.78 km² e situa-se no norte de Portugal, mais precisamente no Alto Minho, e abrange quatro concelhos: Arcos de Valdevez (94%), Melgaço (3%), Monção (2%) e em menor área o concelho de Paredes de Coura e Ponte de Lima.

A bacia hidrográfica do rio Vez (Figura 5.1) apresenta uma forma arredondada de orientação nordeste-sudoeste. Em termos hidrográficos, a área de estudo é drenada pelo rio Vez, o curso de água mais importante da região do Vale do Lima, que nasce na Serra da Peneda a uma altitude aproximada de 1200 m e desagua no rio Lima no limite entre o concelho de Arcos de Valdevez e Ponte de Lima. Os principais afluentes do rio Vez são o

rio Cabreiro e a ribeira de Frades mais a Nordeste, e a ribeira de Rio Frio a ribeira de S. Mamede já no final do troço do rio Vez. A ribeira de Rio Frio é um dos afluentes mais importantes do rio Vez.

O relevo é compartimentado em resultado de numerosos vales que seguem orientações das fracturas, entre os quais o vale do rio Vez, inseridas no alinhamento tectónico de direcção NNO (Monção-Ponte da Barca). O clima oceânico e a atividade humana originaram uma paisagem caracterizada por um mosaico agroflorestal rico e diversificado com a existência de dois grandes tipos de paisagem: o Vale (altitude inferior a 250 m), com extensos campos de cultivo e fortemente marcados pelo desenvolvimento urbano e de infraestruturas; e a Serra (1300-1400 metros de altitude), de topos rochosos e desnudados, marcados pelo isolamento, onde prevalece a agricultura e o pastorício em brandas, a exploração florestal e uma ocupação urbana baixa com pequenos núcleos habitacionais típicos de montanha.

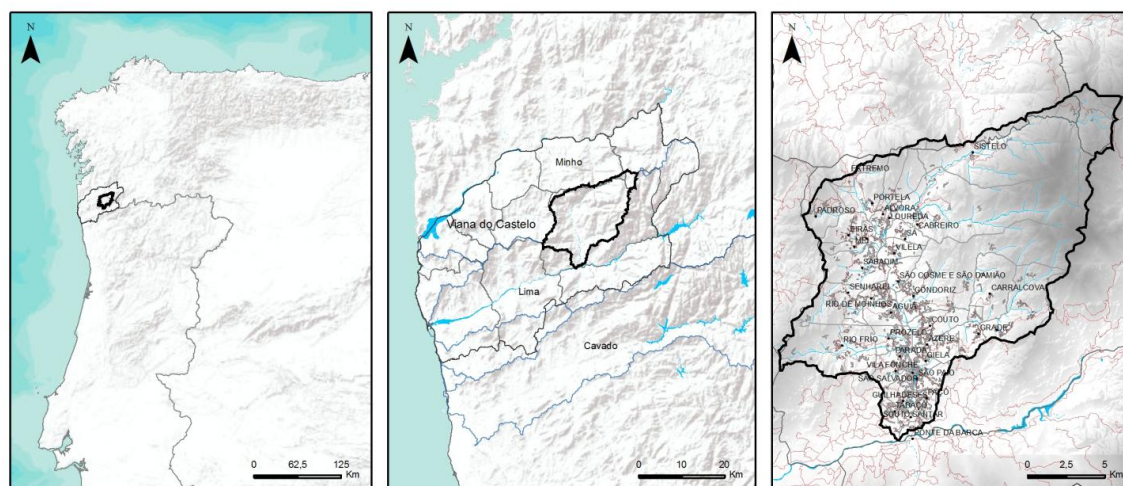


Figura 5.1 – Enquadramento geográfico da área de estudo.

5.1.2 Caracterização do meio físico

A relação entre o meio biofísico e as atividades humanas assume uma dimensão tão complexa quanto importante na compreensão da evolução da ocupação e uso do solo ao longo do tempo. A orografia, a altimetria, o declive e a geologia são características do meio físico inerentes a todos os solos mas diversificam-se geograficamente e são determinantes na forma como o Homem e a natureza intervém na modelação do solo.

A variação altimétrica, a rede hidrográfica, a rede viária e a ocupação e uso do solo caracterizam a estrutura física da bacia hidrográfica do rio Vez.

A hipsometria da bacia hidrográfica do rio Vez revela um meio biofísico peculiar e diverso com superfícies montanhosas de altitude elevada (aproximadamente 1400 metros) limitadas por vertentes com fortes declives, contrapostas aos planaltos descontínuos e vales profundos, mas largos, e de fundo aplanado (Figura 5.2). A maioria da área de estudo apresenta declives entre 25-45% e entre 12-25% que ocupam uma extensão de 36,62% e 31,70% da extensão da bacia respectivamente. Os declives mais suaves (até 12%) ocupam 15,82% da área de estudo e são característicos dos planaltos de altitude mais elevada e a medida que se desce em direção ao vale do rio Vez, a altitude diminui e o risco de erosão vai progressivamente diminuindo. As vertentes dos vales das linhas de água dos afluentes e do início do troço do rio Vez são marcadas por terrenos muito acidentados com declives acentuados (> 45%) que representam 15,85% do total da área da bacia (Figura 5.2).

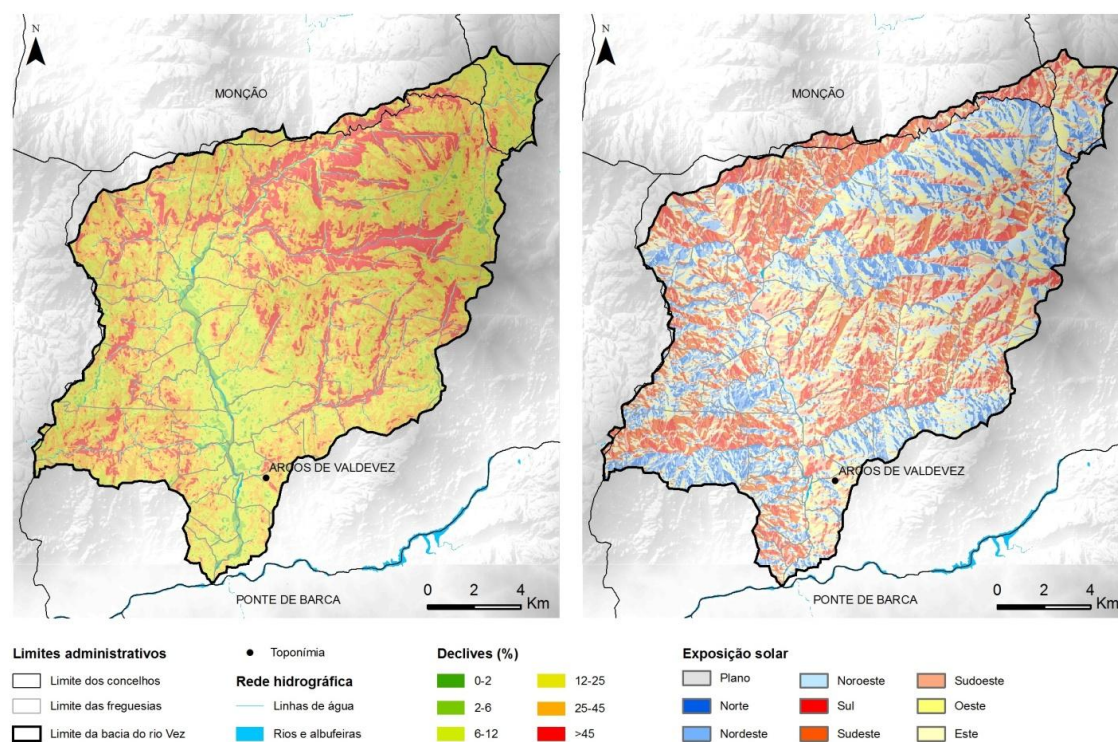


Figura 5.2 – Carta de declives (%) e exposição solar para bacia do rio Vez.

5.1.3 Caraterização Climática

O clima é mais um elemento chave na definição, diversificação e compreensão da paisagem e dos seus ecossistemas. O clima também condiciona a interação entre o Homem e o ambiente contribuindo para a definição das atividades praticadas pela sociedade ao

longo do tempo e a evolução da paisagem. A orografia, altitude e a proximidade ao oceano determinam a distribuição irregular da precipitação e da temperatura que são em grande parte os responsáveis da diversidade de climas e da paisagem em Portugal. A região do Minho é uma das zonas da Europa que regista valores mais elevados de precipitação, atingindo em alguns locais valores superiores a 3000 mm (Miranda et al., 2002).

O regime de precipitação na bacia hidrográfica do rio Vez é tipicamente mediterrânico, apresentando uma distribuição irregular ao longo do ano com variações interanuais muito acentuadas, tornando a região vulnerável a fenómenos extremos associados à falta de precipitação (secas) ou excesso (cheias). A quantidade de precipitação aumenta com o aumento da altitude em resultado da condensação das massas de ar húmido que vem do Oceano Atlântico à medida que encontra as barreiras orogénicas e sobe em altitude. Em função da altitude foram criadas zonas climáticas homogéneas em que a quantidade de precipitação média anual deriva em função da altitude (Figura 5.3). O zonamento da precipitação na área de estudo está dividido em três zonas de precipitação: 2000-2400 mm, 2400 e 2800 mm e mais de 2800 mm. Grande parte da área de estudo corresponde a uma precipitação anual entre 2400 mm e 2800 mm representando 60,66%. A temperatura do ar na bacia hidrográfica do rio Vez está associada as estações do ano, as temperaturas mais elevadas ocorrem nos meses de verão e os valores baixos durante o Inverno. As zonas com altitude mais elevada, no noroeste da bacia, apresentam um clima mais frio designada por Terra fria (de alta montanha e de montanha) e terra temperada fria. Nos locais de altitude mais baixa que coincidem com o troço final do rio Vez onde o leito do vale do rio é mais amplo e com menores declives e altitudes, as temperaturas são as mais elevadas da bacia correspondendo a zonagem de terra temperada quente litoral com temperaturas entre os 14 e 16 °C e com cotas inferiores a 250 metros (Figura 5.3).

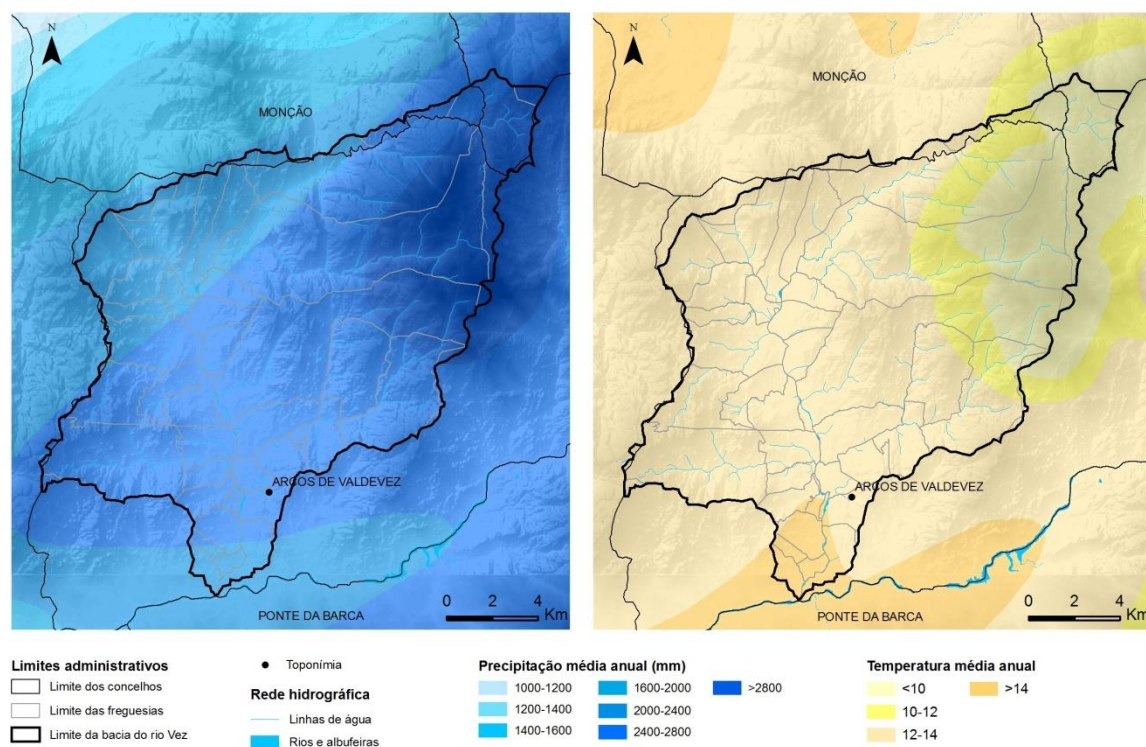


Figura 5.3 – Zonas climáticas homogéneas em função da precipitação média anual (mm) e da temperatura média anual (°C) da Carta de Solos e Aptidão da Terra do Região do Entre-Douro e Minho.

Relativamente a humidade relativa média anual do ar (Figura 5.4) a bacia do rio Vez apresenta em 50% da sua área humidade superior 85,0% nas regiões de menor cota a oeste. A humidade intermedia (80-85%) representa 49% da área de estudo e o restante 1% da bacia corresponde a humidade relativa media anual mais baixa (75-80%) e situa-se nas zonas mais elevadas da bacia correspondendo a zona mais nordeste.

A insolação média anual (Figura 5.4) é o número de horas de sol descoberto e na área de estudo varia entre menos de 1800 e 2500 horas médias anuais, revelando uma estreita relação com a altitude. A insolação é maior em altitudes mais baixas e diminui com o aumento da altitude devido ao aumento da nebulosidade recorrente da diminuição da temperatura. A insolação é maior em locais em que os declives são suaves como é caso da zona mais sul da bacia, onde o leito do rio é mais amplo e o relevo mais plano.

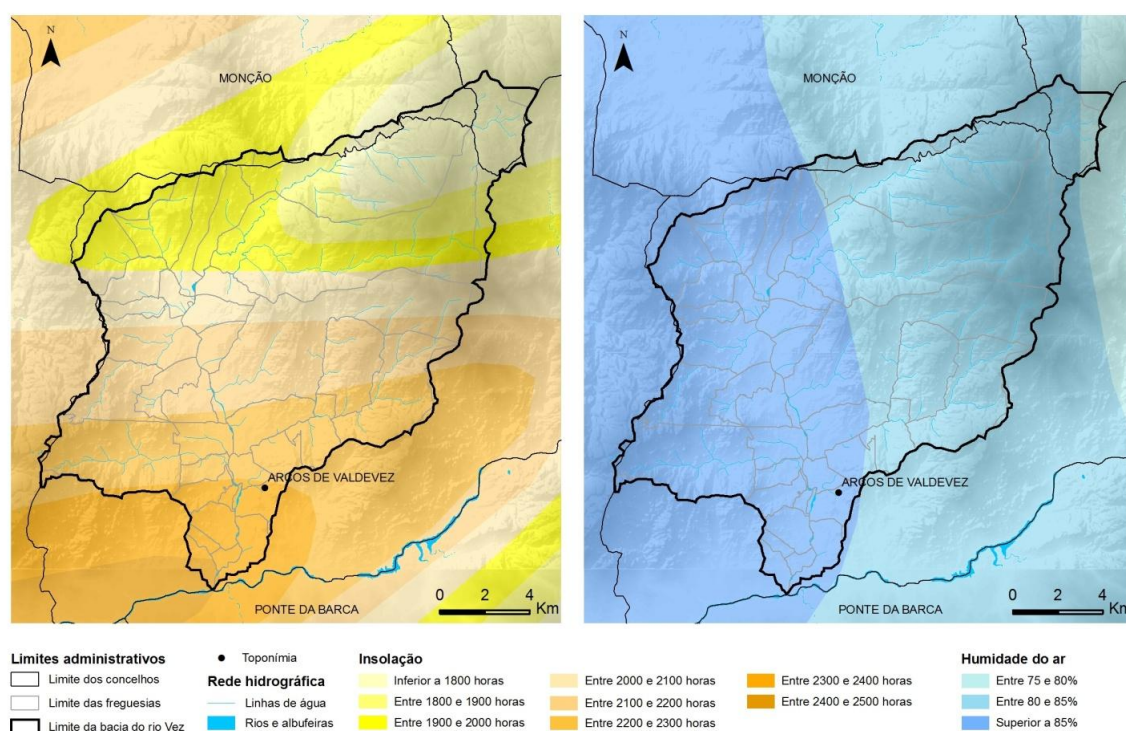


Figura 5.4 – Insolação média anual e humidade relativa média anual da bacia hidrográfica do rio Vez da Carta de Solos e Aptidão da Terra do Região do Entre-Douro e Minho.

5.1.4 Geologia, pedologia e aptidão do solo

A área de enquadra-se no Maciço Hespérico com dominância das rochas eruptivas plutónicas (principalmente granitos e granodioritos) e rochas metamórficas (xistos) (Figura 5.5). A generalidade da área de estudo é ocupada por granitos representando 91,64% do território. Os xistos são compostos maioritariamente pelíticos e representam 5,33% da área total e localizam-se na zona norte da bacia com mais incidência a Noroeste. Os tipos litológicos com menor expressão na bacia são os granodioritos (2,79%) a nordeste da bacia e os aluviões atuais (0,11%), os terraços fluviais (0,43%) e os terrenos areno-argiloso de fundo de vale (1,26%) localizados próximos ou nas margens das linhas de águas que drenam a bacia.

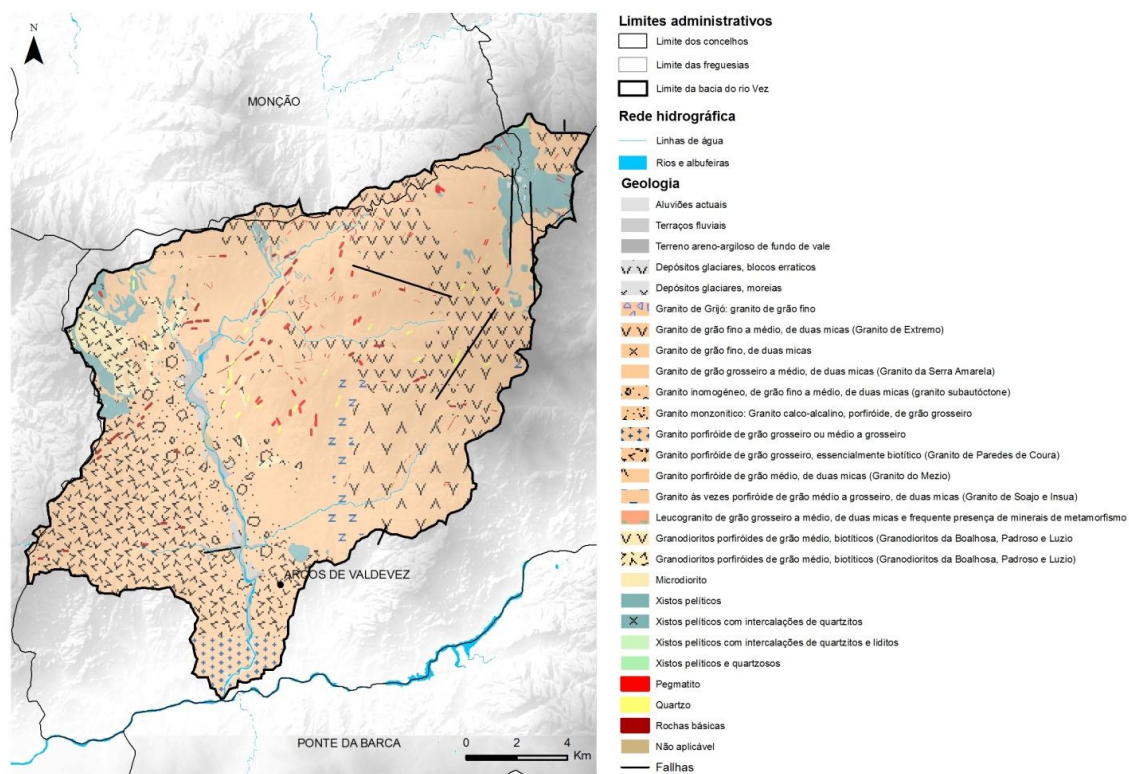


Figura 5.5 – Carta geológica da bacia hidrográfica do rio Vez.

Em termos de caracterização do solo (Figura 5.6), os solos mais vulgares na bacia hidrográfica do rio Vez são os regossolos (RG) representando aproximadamente 65% da superfície total da área de estudo. São solos naturalmente pouco férteis, de materiais não consolidados, destacando-se os regossolos úmbricos espessos em regolitos de granitos [RG_{Guo.g} LP_{u.g} R] que representa 63,3% do total dos regossolos. Encontram-se de uma forma geral presente em praticamente todo o território mas principalmente nas zonas de maior altitude. Os antrossolos são os solos que sofreram uma modificação profunda ou por soterramento dos horizontes originais do solo ou através de remoção ou perturbação dos horizontes superficiais e adições seculares de materiais, através da atividade humana principalmente no sector agrícola, distribuem-se nas proximidades das linhas de água com elevado potencial agrícola, representando 23,81 % da área de estudo. Os leptossolos são a terceira categoria mais representativa da bacia hidrográfica do rio Vez e ocupam 9,11% da sua área. São solos limitados em profundidade, até 30 cm a partir da superfície, por rocha contínua e dura ou com menos de 20% de terra fina até 75 cm a partir da superfície (Alonso, 2008). Estes solos são sempre úmbricos (LP_u) em xistos e rochas afins (LP_{u.x}) e em granitos e rochas afins [LP_{u.g}]. Os leptossolos distribuem-se nas cotas mais elevadas

da bacia que correspondem a serra da Peneda e são geralmente incultos com matos ou florestas de pinheiros (Alonso, 2008). Por último, a bacia é ocupada pelos fluviosolos [FL] que representa uma minoria da sua área (2,58%). Os fluvisolos correspondem a solos derivados de depósitos aluvionares dístricos em aluviões recentes [FLdm] localizados em superfícies de deposição de sedimentos (Alonso, 2008) e distribuem-se ao longo do rio Vez.

Ao nível da aptidão do solo, a bacia hidrográfica do rio Vez apresenta nove classes de aptidão agrícola e florestal (Figura 5.6). A aptidão está relacionada com um conjunto de características tais como: regime de temperatura, tipo de solo (condições de enraizamento, fertilidade, drenagem, disponibilidade de água no solo), riscos de erosão, declive do terreno e presença de obstáculos (afloramentos rochosos e socacos). A classe de aptidão mais predominante é a agrícola inapta e florestal marginal [A0F3] com uma extensão de 59,6% da área da bacia. As áreas sem qualquer aptidão agrícola ou florestal [A0F0] representam 9,53% da área de estudo, a ausência de qualquer aptidão deve-se as suas características fisiográficas de elevada altitude e com afloramentos rochosos. As áreas com alguma aptidão agrícola representa 18,62% da área de estudo e localizam-se mais a Sul e Este da área de estudo na planície fluvial do rio Vez.

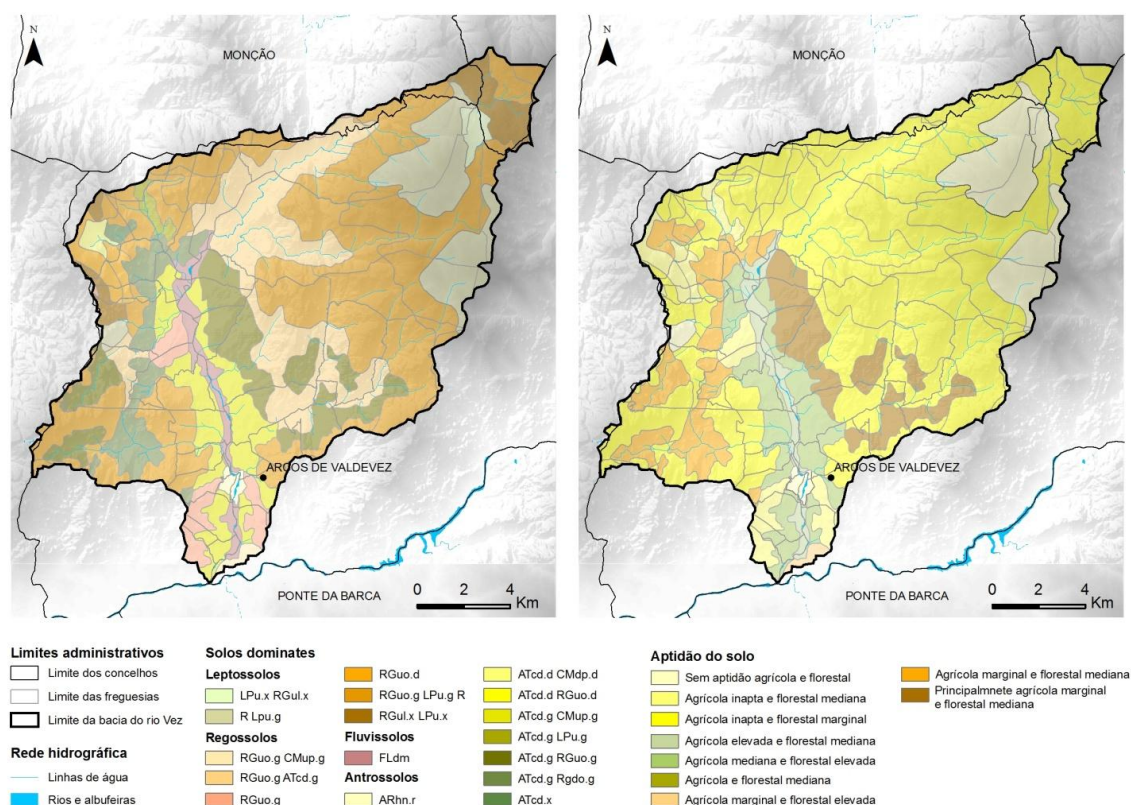


Figura 5.6 – Classificação dos solos e da aptidão agrícola e florestal da bacia hidrográfica do rio Vez da Carta de Solos e Aptidão da Terra do Região do Entre-Douro e Minho.

5.1.5 Os espaços de proteção ambiental e figuras de ordenamento do território

A bacia hidrográfica do rio Vez esta condicionada por várias figuras de proteção e ordenamento (Figura 5.7). As figuras mais importantes e que mais condicionam a área em estudo são as áreas protegidas: Parque Nacional Peneda-Gerês (PNPG) que ocupa cerca 14,3% e a paisagem protegida de corno de bico que ocupa 0,4% da área de estudo. O PNPG é o único parque nacional português e foi a primeira área protegida de Portugal, tendo sido criada em 1971, pelo Decreto-Lei n.º 187/71, de 8 de Maio. Além das áreas protegidas ainda existem mais figuras de condicionamento da utilização do solo como a Reserva Ecológica Nacional (REN), a Rede Agrícola Nacional (RAN), a Rede Natura 2000 e o regime de propriedade florestal (baldios e privado).

A REN apresenta aproximadamente metade da área estudo (14874.5 hectares) já a RAN só apresenta 7,1% (1864.94) da área em estudo. A Rede Natura 2000 devido à diversidade de habitats e espécies que o rio Vez e as margens (integram o Sítio rio Lima), as serras da Peneda/Gerês (código PTCON0001) e Corno de Bico (código PTCON0040) albergam, foram classificados como Sítio de Importância Comunitária (SIC) para a conservação e a

serra do Gerês (código PTZPE0002) como Zona de Proteção Especial. Por último o regime de propriedade florestal que ocupa 70,53% da área de estudo e divide-se em privado (33,49%) e em comunitário (37,03%).

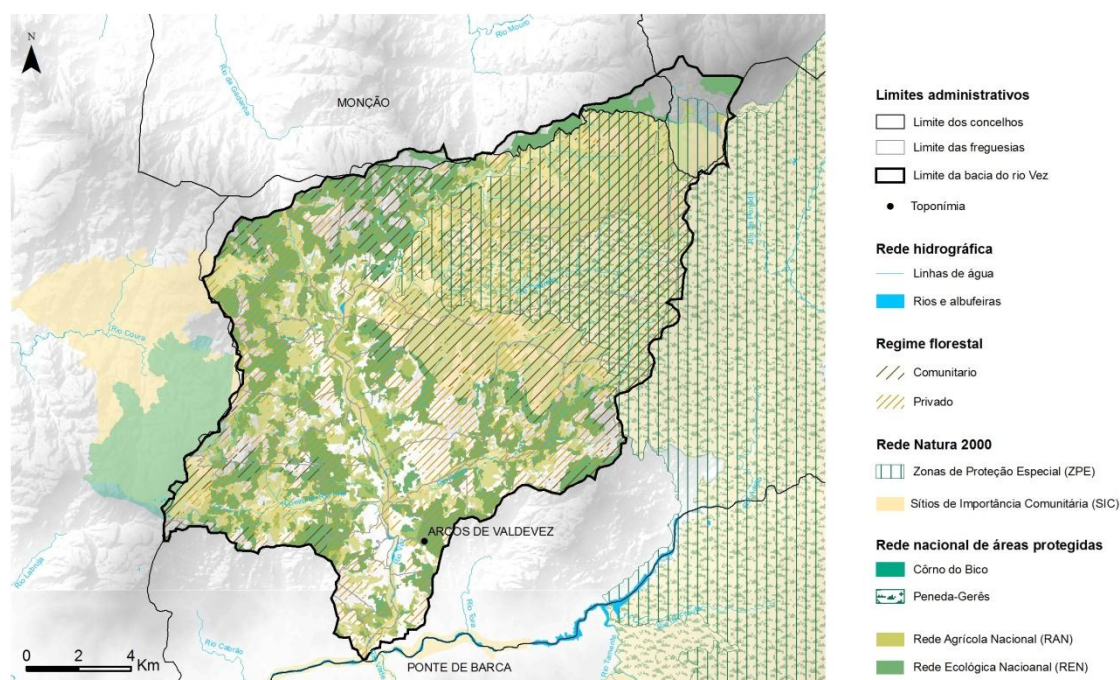


Figura 5.7 – Figuras de proteção e ordenamento da bacia hidrográfica do rio Vez.

5.1.6 Caracterização socioeconómica

A evolução da paisagem é determinada em grande parte pelo Homem, o principal ator nas na mudança da ocupação e uso do solo. Neste sentido, o estudo das dinâmicas socioeconómicas geradas no território é um fator chave na perceção e na simplificação da complexidade do sistema ambiente-Homem.

As dinâmicas populacionais relacionam-se com a perda e envelhecimento populacional segundo os dados estatísticos dos censos do INE de 1991, 2001 e 20011 (página 104, A I) para as freguesias da bacia hidrográfica do rio Vez. Em 1991, a população era de 30212 habitantes enquanto em 2001 e 2011 eram 27051 e 24430 habitantes respetivamente. A população residente entre 1991 e 2001 diminuiu na maioria das freguesias. As únicas freguesias que viram a sua população residente aumentar neste período foram Aguiã, Ázere, Guilhadeses, Paço, Prozelo, Salvador e Vila Fonche. A freguesia de Vila Fonche é a freguesia que sofreu o maior aumento da sua população residente (289 habitantes) e esta

inserida na zona periurbana do concelho de Arcos de Valdevez, sendo um local em desenvolvimento e com um crescimento urbano acentuado.

Os dados estatísticos de 2001 e 2011 indicam que a população residente seguiu a tendência de diminuição verificada no espaço temporal anteriormente analisado. Algumas freguesias foram exceção, contrariando a tendência e apresentando uma variação de população positiva. As freguesias que apresentam um saldo de crescimento positivo foram Giela, e novamente Guilhadeses, Paço, Parada, Salvador e Vila Fonche que continua com o maior aumento populacional. A população residente distribui-se principalmente na faixa etária dos 25 aos 64 anos. Entre 2001 e 2011, a população entre os 0-14 anos e 14-24 anos têm vindo a diminuir e a população com mais 75 anos tem aumentado ressaltando o envelhecimento da população (Figura 5.8).

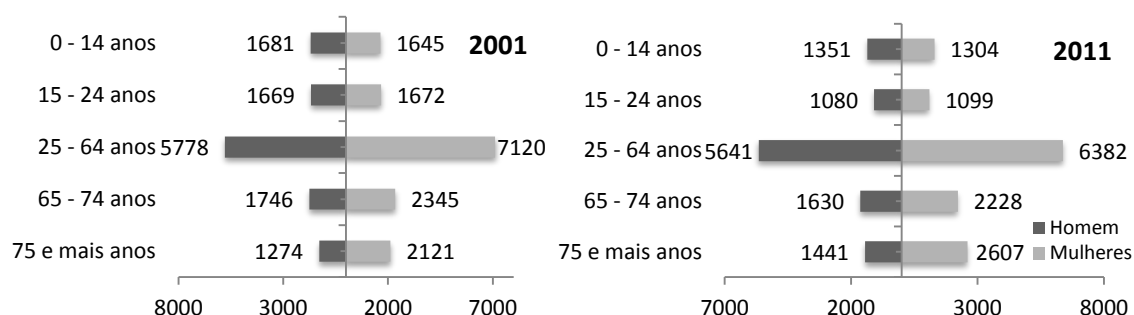


Figura 5.8 – Pirâmide etária da população residente (nº) da bacia hidrográfica do rio Vez para o ano 2001 (esquerda) e 2011 (direita). Fonte: INE, Recenseamento da População e Habitação.

A população empregada tem aumentado, em 2001 eram apenas 8647 num total de 27051 habitantes e em 2011 13256 em 24430 habitantes. O sector que marca de um modo determinante a atividade económica da população empregada da área de estudo segundo o recenseamento da população e habitação de 2001 é o sector primário como seria espectável, mais propriamente a agricultura, a produção animal, a caça e a silvicultura com cerca de 25,35% (2192 habitantes) empregues nestas atividades económicas. O sector da construção em 2001 também albergava uma consistente parte da população, cerca de 1586 habitantes (18,34 %).

O sector com menor número de empregados em 2001 é o sector das atividades financeiras. A data dos censos de 2011 houve algumas alterações nas atividades económicas mais praticadas na área estudo. A principal atividade da população foi a construção com 17,95% da população empregada (2380 habitantes) seguido das indústrias transformadoras com cerca de 2312 habitantes. O sector primário (agricultura, produção animal, caça, floresta e

pesca) perdeu cerca de 10065 habitantes ficando com apenas 1127 (8,5%). Nestes censos ainda é possível destacar o aumento da população empregue no sector da informação e da comunicação que superou o setor da agricultura, produção animal, caça, floresta e pesca.

Sector agrícola

O sector agrícola em Portugal esteve sujeito às várias políticas como a Política Agrícola comum (PAC) na sequência da integração de Portugal na União Europeia (UE) em julho de 1985. A PAC trouxe ao sector a liberalização do comércio e dos preços agrícolas e a entrada de produtos comunitários a preços mais baixos, reforçando as taxas de queda da agricultura de sequeiro (Nunes et al., 2011). Foram vários os fatores que conduziram a progressiva perda de importância deste sector na economia familiar propiciando o êxodo rural que se verificou um pouco por toda a Europa⁷.

Com base no Recenseamento agrícola (1998, 1990 e 2009) podemos corroborar a diminuição da população agrícola nas freguesias da área de estudo. Esta diminuição é mais acentuada entre 1998 e 1990 e ocorre predominantemente nas freguesias localizadas nas zonas mais montanhosas e elevadas onde predomina a agricultura de montanha. Relativamente a escolaridade dos produtores agrícolas, a tendência é o aumento das habilitações desde 1998 até 2009 porém, a maioria apresenta apenas escolaridade básica.

Para analisar a distribuição dos produtores agrícolas por faixa etária (página 106, A III) foram usadas seis classes (15-24 anos, 25-34 anos, 35-44 anos, 45-54 anos, 55-64 anos e 65 anos ou mais). Os produtores agrícolas são envelhecidos, ocupam principalmente as últimas duas classes etárias. Em termos de efetivo animal, na sua maioria tem diminuído, principalmente os bovinos, suínos e aves (página 106, A IV).

Sector florestal

A estrutura da floresta em Portugal é resultante das políticas aplicadas a este setor nos últimos anos, particularmente a partir do século XIX. A florestação foi durante mais de um século a componente principal da política florestal em Portugal e foi conduzida tendo em

⁷ Os principais fatores que determinaram o abandono das zonas agrícolas foram: a liberalização dos mercados, incapacidade de modernização de grande parte dos agricultores portugueses (devido ao clima mediterrânico, ao relevo ondulado e aos solos pouco profundos e pobres), o trabalho neste sector ser descontínuo e fortemente dependente dos processos naturais e dos mercados e a ausência de mão-de-obra qualificada e especializada (Silva, 2000). A diminuição e envelhecimento da população nas zonas rurais e a procura de atividades com maiores rendimentos e que proporcionassem maior estabilidade familiar também foram fatores-chaves no abandono agrícola.

conta a estrutura e o regime da propriedade. Foram várias as políticas aplicadas as florestas portuguesas como a florestação das terras sob o domínio público: a arborização das dunas costeiras (propriedade do direito público) e seguiu-se no fim do século a florestação dos baldios (propriedade comunal) nas montanhas do Norte e do Centro do país (Coelho, 2003). Apenas nos anos sessenta do século XX o Estado iniciou políticas de suporte a florestações em propriedades privadas, especialmente no Sul onde predominam as grandes propriedades. Com o Programa Florestal do Banco Mundial foi significativamente aumentado o património florestal na posse das indústrias ligadas ao sector da pasta de papel e apenas nos últimos 20 anos foi iniciado um plano tendo permitido um significativo incremento da área florestal em pequenas propriedades nas regiões do Norte e do Centro (Coelho, 2003).

Em Portugal, desde 1986 diversos programas da União Europeia (UE) têm vindo a apoiar projetos de florestação portugueses. Como resultado, a área florestal aumentou desde então (Tomaz et al., 2013). Atualmente em Portugal a maior parte da área floresta pertence a pequenos proprietários não profissionais, a proprietários que são, em simultâneo, pequenos agricultores e a comunidades locais (baldios). De acordo com o 6º Inventário Florestal Nacional (ICNF, 2013), a floresta Portuguesa é composta principalmente pelo eucalipto representa a maior área do país (812 mil ha; 26%), o sobreiro a segunda (737 mil ha; 23%), seguido do pinheiro-bravo (714 mil ha; 23%). A área ocupada por espécies resinosas corresponde a 31% da floresta portuguesa, sendo a restante (69%) ocupada por espécies folhosas.

5.2 Distribuição e evolução da ocupação e uso do solo

A bacia hidrográfica do rio Vez (Figura 5.9, Figura 5.10 e Figura 5.11) é composta predominantemente por espaços seminaturais caracterizados pela presença de vegetação arbustiva e herbácea [I], e áreas sem ou com pouca vegetação [J], representando em conjunto mais de metade da área de estudo. Os meios semi-naturais estão localizados predominantemente no quadrante Noroeste da bacia, nas zonas de maior altitude e com elevados declives. Estas características físicas são os principais vetores da elevada extensão das áreas semi-naturais na bacia, já que são locais com solos pobres que não servem para agricultura e onde se desenvolve este tipo de vegetação rasteira propícia à incidência e a extensão dos incêndios florestais e à erosão do solo pelos agentes erosivos. As áreas artificiais englobam o tecido urbano [U], as infraestruturas e equipamentos [S] e

as áreas degradadas [J]. Estas áreas são as que ocupam menos extensão da área de estudo mas tem vindo a aumentar e distribuem-se predominantemente na proximidade das linhas de água e ao longo das estradas principalmente na zona Sul da bacia (centro urbano). Os espaços agrícolas deste território, muitos deles considerados paisagens culturais, resultaram da interação dinâmica contínua entre os processos naturais e a atividade humana que conferiram características socioculturais únicas ao território. As áreas agrícolas abrangem as culturas anuais [C], pomar [A], vinha [V] e olival [O] e distribuem-se predominantemente ao longo das linhas de água e nas zonas mais planas no vale do rio Vez onde os declives são mais suaves e altitude menor. Nas zonas mais altas e vales de altitude verificam-se sistemas de policulturas tradicionais com os típicos aglomerados habitacionais de montanha.

As áreas urbanas e agrícolas estão envolvidas pelas manchas florestais. As áreas florestais representam uma mancha extensa (a terceira maior) e importante para esta área e é constituída principalmente por áreas de pinheiro-bravo [P], outras resinosas [R], carvalho [Q], outras folhosas [F] e áreas de eucalipto [E].

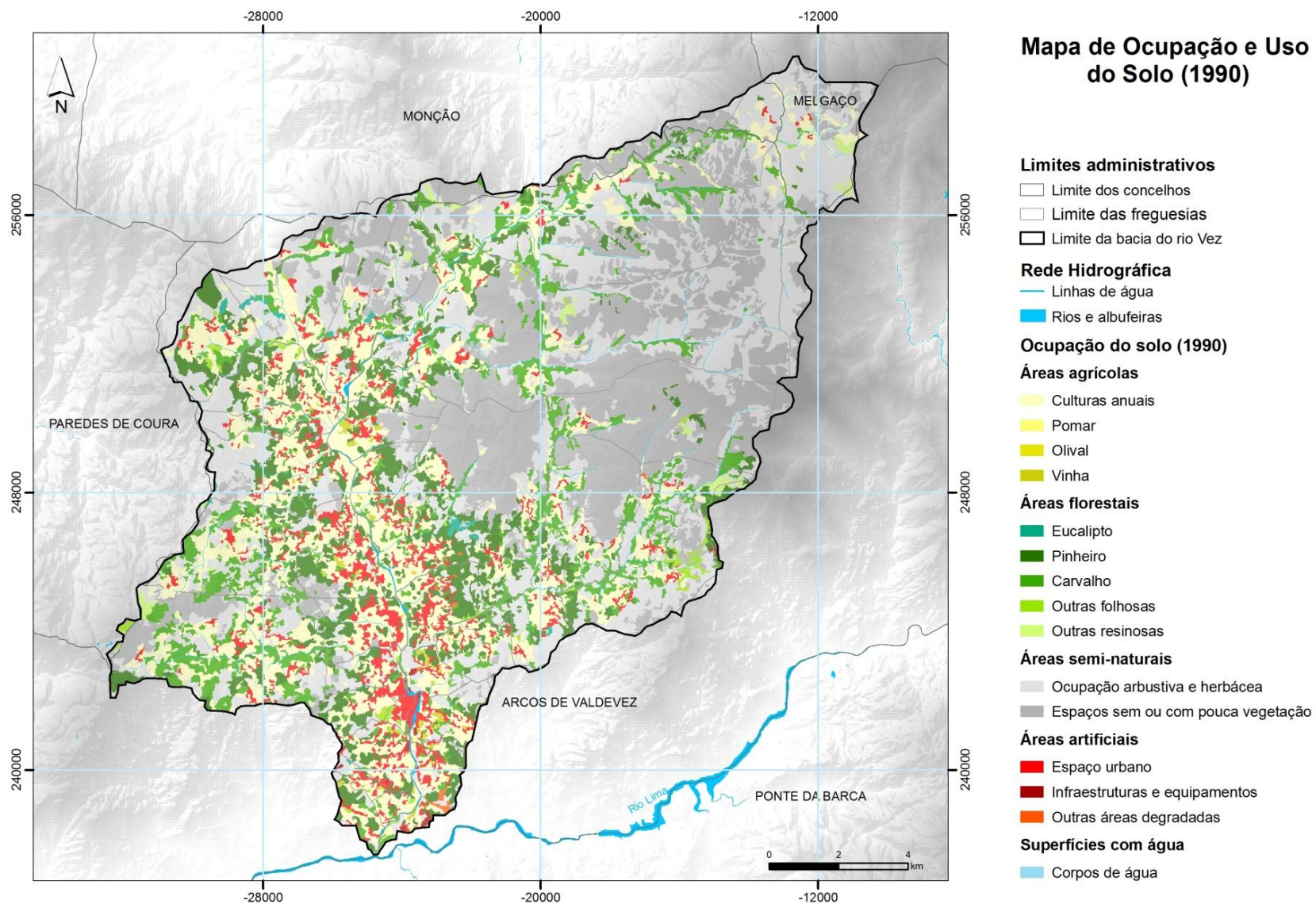


Figura 5.9 – Mapa de Ocupação e Uso do Solo de 1990 (COS'90).

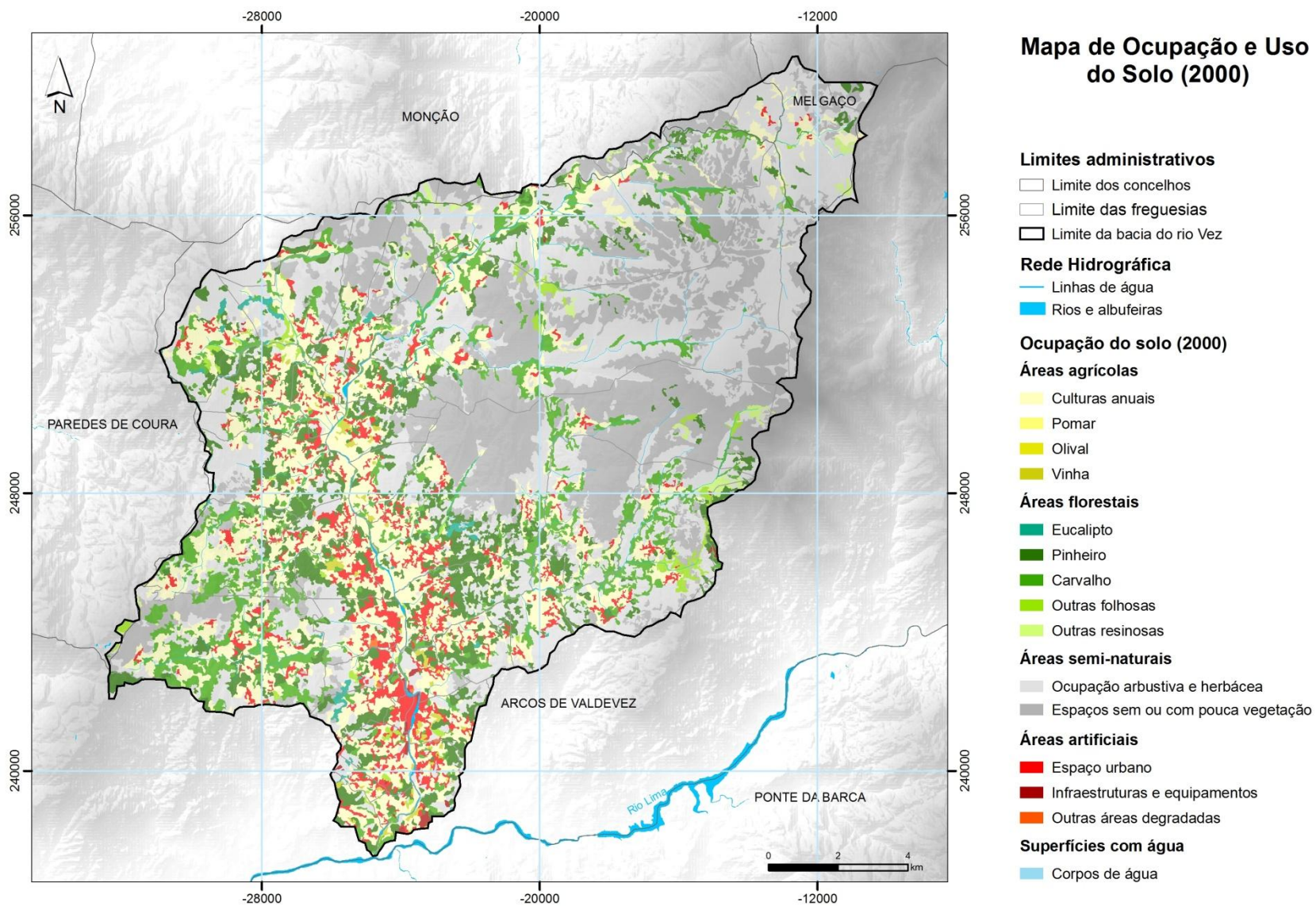


Figura 5.10 – Mapa de Ocupação e Uso do Solo 2012 (COS'00).

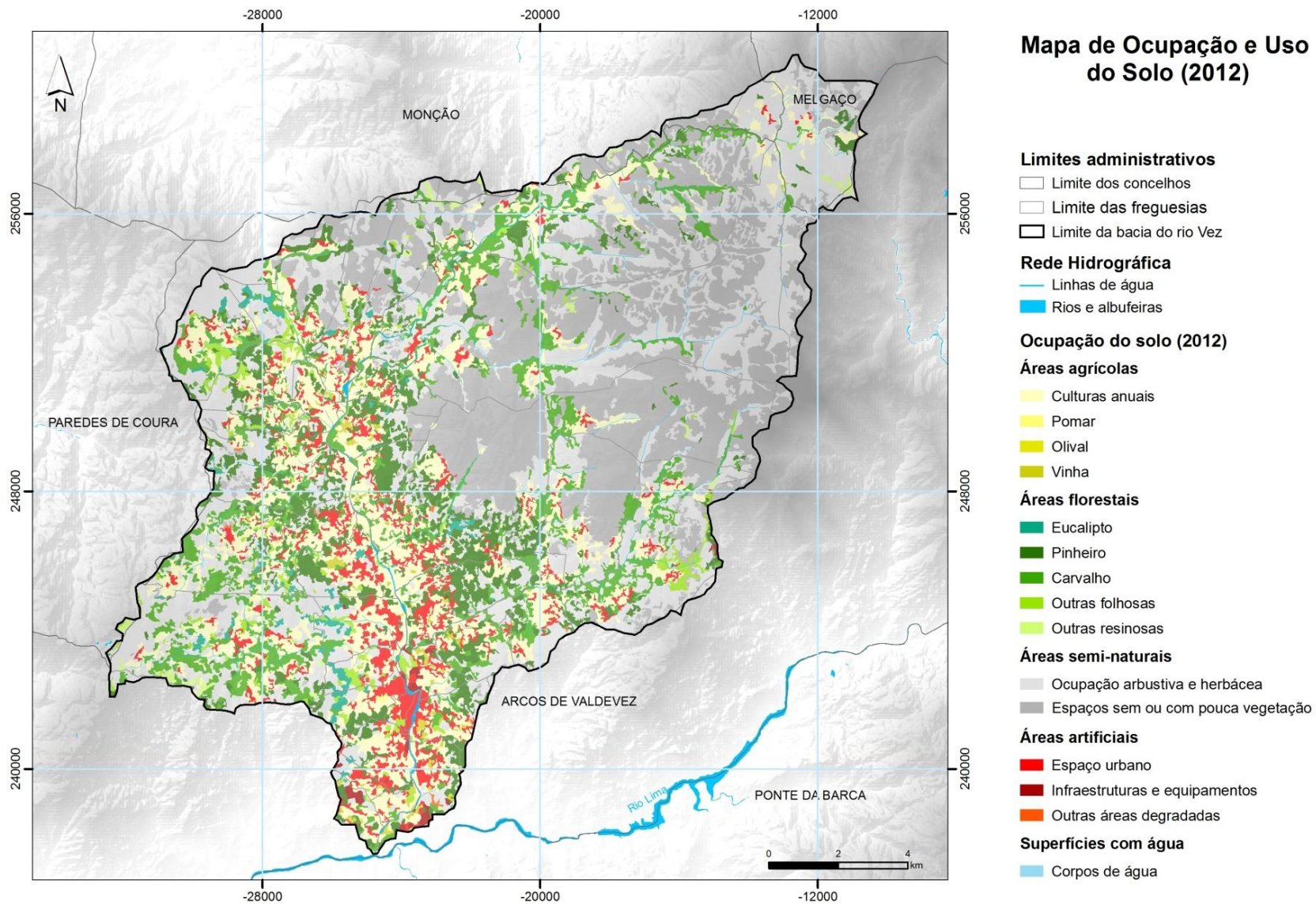


Figura 5.11 – Mapa de Ocupação e Uso do solo de 2012 (COS12).

A evolução e a dinâmica das categorias de ocupação e uso do solo demonstram a importância de compreender os determinantes da alteração e das dinâmicas internas próprias destas áreas. A compreensão dos promotores que levaram a transição de categorias na da série temporal em estudo torna-se importante na tomada de decisões na gestão dos valores e funções presentes.

Na bacia hidrográfica do rio Vez cerca de 8272,4 hectares sofreram mudança de ocupação e uso do solo no período temporal analisado. Isto significa que entre 1990 e 2000 12% da área da bacia foi modificada e entre 2000 e 2012 a área modificada aumentou atingindo 19% da área de estudo.

As tendências gerais ocorridas nestes 22 anos mostraram uma diminuição das áreas agrícolas com uma grande diminuição das culturas anuais [C] e um aumento significativo da cultura da vinha [V] e do pomar [A]. As áreas urbanas e infraestruturas e equipamentos tiveram um aumento linear ao longo da série temporal. As áreas com vegetação arbustiva e herbácea [I] e áreas sem ou com pouca vegetação [J] tiveram um aumento na totalidade da série temporal mas com oscilações (Figura 5.12). Estes resultados foram consistentes com processos de abandono do solo, com a intensidade e frequência de incêndios e o aumento da população e da economia.

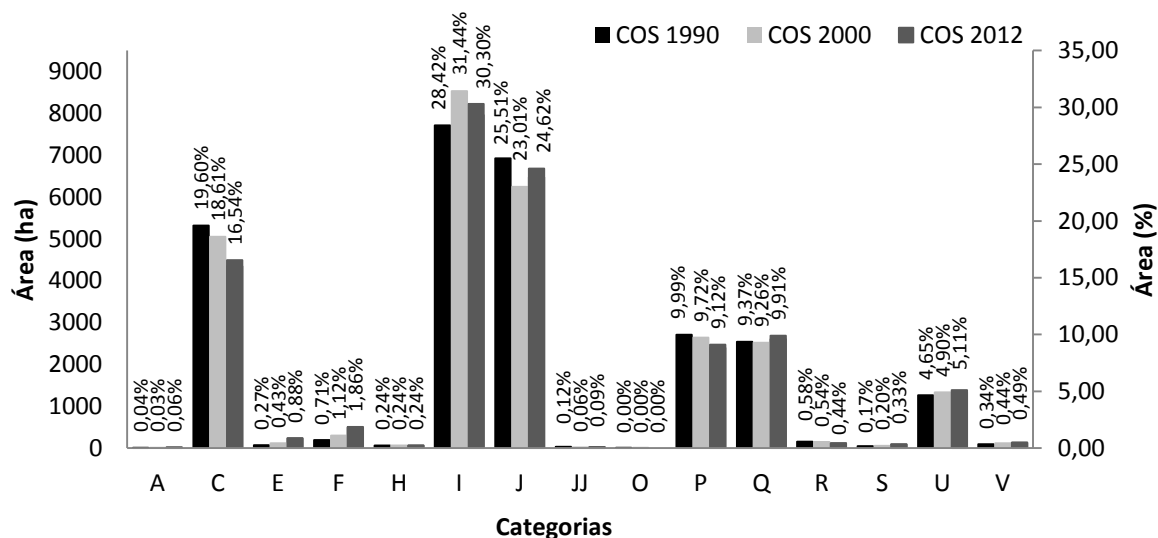


Figura 5.12 – Dimensão (%) das categorias de ocupação do solo para os anos 1990, 2000 e 2012.

5.2.1 Meios semi-naturais

Os espaços semi-naturais são caracterizados pela presença de vegetação arbustiva e herbácea [I] e áreas sem ou com pouca vegetação [J]. Estas categorias são as mais representativas e com maior dinâmica da bacia hidrográfica do rio Vez no espaço temporal em estudo, ocupando 53,9% em 1990, 54,4% em 2000 e 54,9% em 2012 (Figura 5.13).

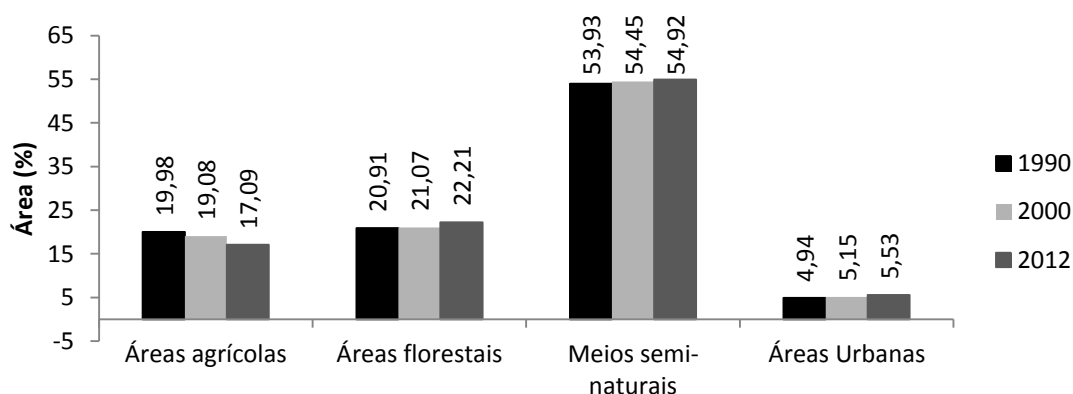


Figura 5.13 – Evolução da ocupação e uso do solo (%) entre 1990, 2000 e 2012.

As áreas com vegetação arbustivas e herbáceas [I] apresentam uma extensão da área de estudo de 28,4% em 1990, 31,42% em 2000 e 30,30% em 2012 (Figura 5.12). Entre 1990-2000 a categoria I aumentou 3,01% devido a conversão de áreas sem ou com pouca vegetação [J] (3,09%), pinheiro [P] (1,56%) e de carvalho [Q] (0,71%). Porém, as áreas ocupadas com vegetação arbustiva e herbácea [I] foram convertidas em áreas de pinheiro [P] (1,44%), áreas sem ou com pouca vegetação [J] (0,57%) e áreas de carvalho [Q] (0,52%) (Tabela 5.1). No segundo intervalo de tempo a categoria I diminuiu 1,14%. Perdeu principalmente 3,52% da sua área para categoria J e 1,87% para a área de pinheiro [P], no entanto, esta perda foi contrabalançada com a mudança de algumas categorias para I, nomeadamente de pinheiro [P] (1,91%), culturas anuais [C] (0,89%) e carvalho [Q] (0,75%) (Tabela 5.3).

As áreas sem ou com pouca vegetação [J] ocupavam 25,51% da área de estudo em 1990, 23,01% em 2000 e 24,62% em 2012 (Figura 5.12). No primeiro intervalo de tempo, a categoria J diminuiu 2,49%, perdeu cerca de 3,09% para categoria I e ganhou 0,57% da mesma categoria (Tabela 5.1). Entre 2000-2012 a categoria J aumentou aproximadamente 1,61%, ganhou 3,52% da categoria I e 0,21% a categoria P mas perdeu 2,04% para categoria I (Tabela 5.3).

Um dos possíveis responsáveis pelo aumento e oscilação das áreas dos meios semi-naturais durante os anos em estudo são os incêndios florestais. Aproximadamente metade das novas áreas semi-naturais que ocorrem na COS 2000 coincidem com as áreas ardidas entre 1990-1990 e as novas áreas I e J que surgiram entre 2000 e 2012 coincidem em 99,54% com as áreas ardidas no mesmo intervalo de tempo. A conversão das áreas de carvalho e pinheiro em meios semi-naturais, principalmente na categoria I, vem mais uma vez demonstrar a importância dos incêndios no aumento da área dos meios semi-naturais. Os incêndios são o maior e mais rápido modelador da paisagem. A sua distribuição e intensidade têm, a par com outros fatores associados à diversificação e intensificação de usos (queimadas para obtenção de pastagens, diminuição significativa dos espaços florestais e a sua substituição por espaços seminaturais) um grande impacto na ocupação e uso do solo. Estes incêndios sistemáticos ainda contribuem para a interrupção recorrente dos ciclos de recuperação e de sucessão ecológica. Esta elevada ocupação pelos meios semi-naturais acarreta vários aspetos negativos como a perda de solo pelo processo de erosão, diminuição da variabilidade ecológica e modificação das características biofísicas (perda de vegetação e humidade por exemplo).

5.2.2 Áreas florestais

A área florestal representa uma extensa área da bacia hidrográfica do rio Vez e tem aumentado, representando em 1990 20,9% da área de estudo, 21,1% em 2000 e 22,2% em 2012 (Figura 5.13). O pinheiro-bravo [P] e o carvalho [Q] são os povoamentos florestais mais expressivos da área de estudo (Figura 5.12).

Os povoamentos de carvalho [Q] entre 1990 e 2000 sofreram uma ligeira diminuição (0,10%) sendo substituídos principalmente por incultos [I] (0,52%), culturas anuais [C] (0,57%) e pinheiro [P] (0,33) contrabalançados pelos ganhos vindos das mesmas categorias (71%, 0,39% e 0,28% respetivamente) (Tabela 5.1). No segundo intervalo de tempo analisado, as áreas de carvalho aumentaram (0,64%) provenientes principalmente das áreas com culturas anuais [C] (1,34%), das áreas de incultos [I] (0,78%) e de pinheiro-bravo [P] (0,60) (Tabela 5.3). As mudanças das áreas florestais para áreas agrícolas, entre 1990 e 2000, resultam essencialmente das áreas de carvalho associadas a culturas anuais (QC) (0,3%), para culturas anuais associadas a carvalho (CQ). Em 2000 até 2012 também foram as áreas de carvalho (QQ) que mais contribuíram para conversão para áreas agrícolas (0,05% para CC e 0,04% CQ) (página 109, A VIII e página 111, A IX). Grande parte da

área florestal foi convertida em outras categorias florestais (1,7% entre 1990 e 2000 e 1,7% entre 2000 e 2012).

Os povoamentos de pinheiro-bravo têm diminuído desde 1990 até 2012 (0,87%) (Figura 5.17) sendo convertidos principalmente em áreas de ocupação arbustiva e herbácea [I] (1,91% entre 1990 e 2000 e 1,56% entre 2000 e 2012), em particular associados a áreas de incultos com a presença de pinheiro-bravo [IP] (página 109, A VIII e página 111, A IX).

As restantes categorias florestais ostentam áreas muito reduzidas, variando entre 0,3 e 1,9% da área total da área de estudo. As áreas ocupadas por outras folhosas [F] e eucalipto [E] apresentam um aumento e as resinosas [R] diminuíram. As áreas correspondentes a ocupação pelo eucalipto [E] são as que apresentam menor área nas três cartas de ocupação e uso do solo ocupando 0,3% em 1990, 0,4% em 2000 e 0,9% em 2012 (Figura 5.12) resultado da conversão de áreas de vegetação arbustiva e herbácea [I] (0,04% entre 1990 e 2000 e 0,27% entre 2000 e 2012) e de pinheiro [P] (0,11% entre 1990 e 2000 e 0,15% entre 2000 e 2012). Apesar da área eucalipto ter vindo a aumentar gradualmente era expectável a existência de uma área mais extensa desta espécie, visto ser usual a sua presença no Alto Minho e ser uma espécie de crescimento rápido e muito valorizada no sector florestal.

O aumento da área florestal na bacia hidrográfica do rio Vez resulta essencialmente da conversão das culturas anuais [C] e as áreas de vegetação arbustiva e herbácea [I] em áreas de carvalho [Q], folhosas [F] e eucalipto [E] que se explica em parte, pela atuação da própria natureza (regeneração natural) demonstrando a aptidão natural dos solos da área de estudo para a floresta, mas também pela ação dos proprietários florestais, que têm continuado a investir na floresta com ações de florestação. Apesar do balanço da área florestal na sua globalidade ser positiva, entre o ano 1990 e 2000 também sofreu perdas para outras categorias. Estas perdas de área florestal aconteceram principalmente para áreas seminaturais, 2,60% em 1990-2000 e 2,5% em 2000-2012.

As áreas florestais convertidas em culturas anuais [C] em aproximadamente 0,5% entre 1990 e 2000 e também 0,5% entre 2000 e 2012 em culturas anuais [C] e vinha [V] que se distribuem predominantemente nos solos férteis nas proximidades das linhas de águas (Figura 5.14).

Os incêndios são o principal promotor para alteração das áreas florestais. O fogo destruiu grandes áreas de floresta em todos os países do Mediterrâneo (Tomaz et al., 2013), na

bacia em estudo, 25,52% das áreas florestais que se alteraram entre 1990-2000 coincidem com as áreas ardidas entre 1990-1999 e cerca de 34,96% entre 2000 e 2012 coincidem com as áreas ardidas entre 2000-2012. As mudanças das categorias florestais para as áreas semi-naturais são as que mais coincidem com as áreas ardidas.

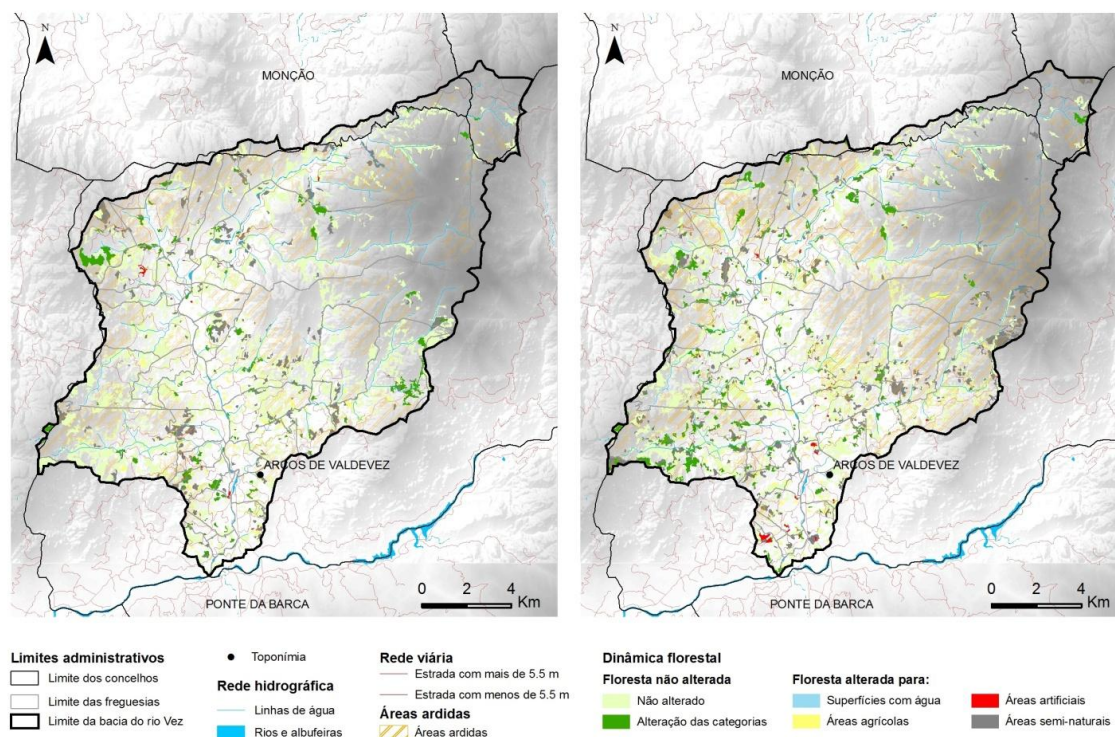


Figura 5.14 – Distribuição geográfica das mudanças das categorias referentes a área florestal entre o ano 1990 e 2000 e entre o ano 2000 e 2012.

5.2.3 Áreas agrícolas

As áreas agrícolas ocupam uma grande parcela da área de estudo mas que tem vindo a diminuir, representavam cerca de 20% em 1990 diminuindo para 19,1% em 2000 e 17,1% em 2012 (Figura 5.12). As áreas com culturas anuais [C] representam a maior parcela dos espaços agrícolas e uma elevada expressão no território em estudo, sendo a terceira categoria que ocupa mais área. Esta categoria representa cerca de 19,6% da área de estudo em 1990, 18,6% em 2000 e 16,6% em 2012 (Figura 5.12), com uma tendência decrescente ao longo da série temporal. Apesar dos espaços agrícolas sofrerem um decréscimo substancial é de ressaltar o aumento das áreas de pomar e de vinha entre 1990 e 2012 (0,02% e 0,15% respetivamente) resultantes da conversão de culturas anuais [C].

As culturas anuais foram convertidas em áreas artificiais 0,18% entre 1990 e 2000 e 0,22% entre 2000 e 2012. Estas novas categorias são na sua maioria tecido urbano [U] (0,17%

entre 1990 e 2000 e 0,19% entre 2000 e 2012) e infraestruturas e equipamentos [S] (0,01% entre 1990 e 2000 e 0,04% entre 2000 e 2012) (Tabela 5.1 e Tabela 5.3). Estas novas áreas urbanas distribuem-se maioritariamente no vale do rio Vez, mais propriamente na zona sul da bacia que corresponde ao centro urbano do município de Arcos de Valdevez onde se encontra a maior intensidade de espaço urbano e infraestruturas e equipamentos (Figura 5.15). Esta conversão de áreas agrícolas em áreas urbanas é compreensível e segue as tendências de urbanização em Portugal nesse espaço temporal.

As áreas de vegetação arbustiva e herbáceas [I] resultantes da conversão das áreas agrícolas representam 0,47% entre 1990 e 2000 e 0,9% da área total entre 2000 e 2012 (Tabela 5.3). Esta conversão de categoria de ocupação e uso do solo está relacionada com o abandono da atividade agrícola e a proximidade a áreas semi-naturais (Figura 5.15).

A transição das culturas anuais para áreas florestais é mais notória entre 2000 e 2012 e representa cerca de 1,68% da área de estudo sendo convertidas principalmente em carvalho [Q] (0,57% entre 1999 e 2000 e 1,34% entre 2000 e 2012), pinheiro [P] (0,17% entre 1999 e 2000 e 0,08% entre 2000 e 2012) e outras folhosas [F] (0,14% entre 1999 e 2000 e 0,22% entre 2000 e 2012). As áreas agrícolas convertidas em áreas florestais, principalmente quercíneas, distribuem-se predominantemente ao longo do rio Vez e dos seus afluentes (Figura 5.15). Esta informação indica-nos que houve uma modificação do ambiente físico com o abandono destas áreas agrícolas nos corredores ripários, podendo estar perante uma sucessão ecológica que promoveu o restauro das zonas ripárias com espécies naturalmente presentes neste tipo de ecossistema. Outra elucidação para o aumento das áreas de carvalho [Q] e outras folhosas [F] pelo abandono das áreas agrícolas pode ser a expansão das sebes utilizadas para limitar as parcelas agrícolas, prática comum na zona do Minho, após o seu abandono.

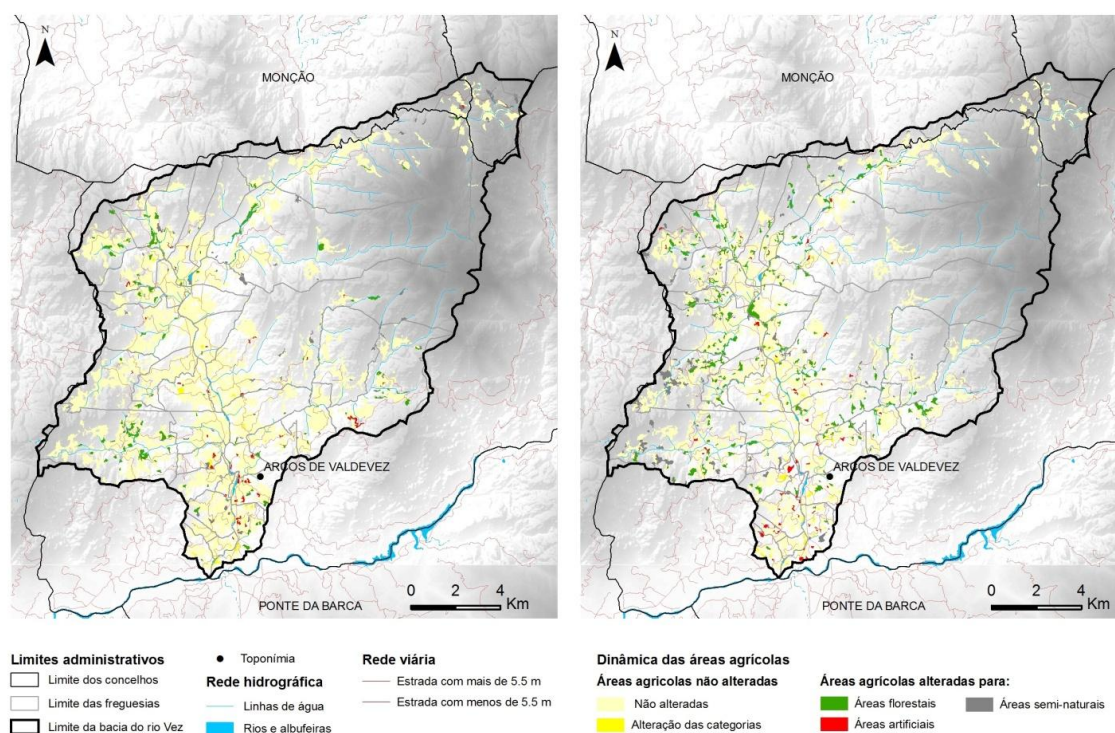


Figura 5.15 – Distribuição geográfica das mudanças das categorias das áreas agrícolas entre o ano 1990 e 2000 (esquerda) e entre 2000 e 2012 (direita).

O motivo para a diminuição do sector agrícola na bacia do rio Vez prende-se com a diminuição da população agrícola (página 105, A II). O abandono agrícola ocorre predominantemente na zona montanhosa com fortes declives onde o cultivo de algumas culturas e a produção para o mercado não é viável, onde só é praticável a cultura de subsistência e não é possível retirar benefícios económicos desses solos agrícolas provocando a diminuição da população agrícola da área de estudo e o seu abandono generalizado.

As diminuições destes espaços agrícolas põem em causa a consolidação estrutural dos espaços rurais resultando na conversão em espaços improdutivos, associados muitas vezes a zonas de matos, em espaços de produção. Este crescente abandono da agricultura põem em causa as características paisagísticas e culturais muito características da zona do Alto Minho devido a falta de manutenção das estruturas características da agricultura de montanha como é o caso dos socalcos que caracterizam e embelezam esta bacia.

5.2.4 Áreas urbanas

Na área de estudo, as áreas urbanas têm uma tendência de crescimento positivo ostentando 4,94% em 1990, 5,15% em 2000 e 5,53% em 2012 (Figura 5.13). O crescimento das áreas urbanas resultou, principalmente, da conversão entre 1990-2000 de 0,17% e 0,19% entre 2000 e 2012 de solos ocupados com culturas anuais (Tabela 5.1) (Tabela 5.3). O novo tecido urbano [U], distribui-se principalmente na zona mais urbanizada da área de estudo, havendo uma densificação e consolidação do tecido já existente (Figura 5.16). As restantes áreas estão distantes do centro urbano e distribuem-se nas proximidades dos núcleos urbanos existentes mas não ocorre uma consolidação mas sim um aumento das áreas urbanas na proximidade da rede viária. Esta fragmentação e distribuição do tecido urbano dificultam o ordenamento e gestão destas áreas e a acessibilidade a serviços como a rede de saneamento e de água. As novas infraestruturas e equipamentos [S] desenvolvem-se na periferia do tecido urbano principalmente na zona mais a sul da bacia onde se concentra a maior área urbana.

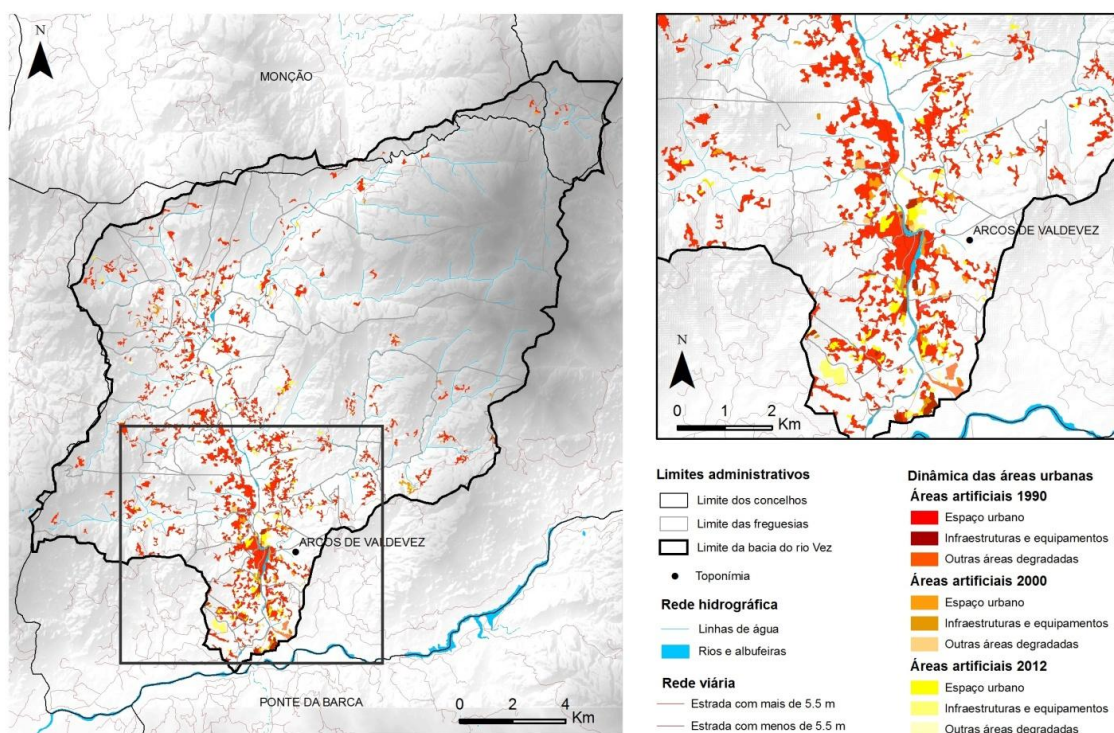


Figura 5.16 – Distribuição na bacia hidrográfica do rio Vez das áreas urbanas em 1990 e as novas áreas que surgiram em 2000 e 2012.

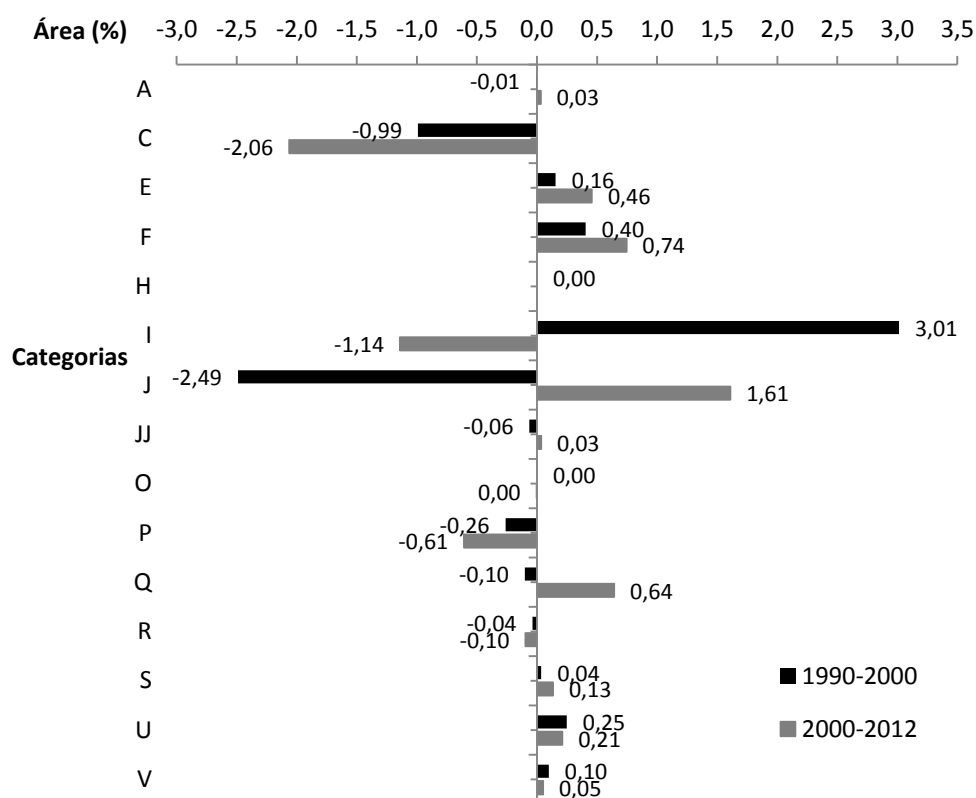


Figura 5.17 – Variação (%) relativamente a área de estudo entre 1990-2000 e entre 2000-2012 das categorias de ocupação do solo (COS).

Tabela 5.1 – Matriz de transição das categoriais de ocupação e uso do solo entre a 1990 e 2000 (%).

1990/2000	A	C	E	F	H	I	J	JJ	O	P	Q	R	S	U	V	Total (%)
A	0,02	0,00													0,02	0,04
C	0,01	17,95	0,01	0,14		0,44	0,03	0,01		0,17	0,57		0,01	0,17	0,10	19,60
E			0,24			0,02				0,01						0,27
F		0,04		0,56		0,04				0,06	0,01					0,71
H					0,24											0,24
I		0,08	0,04	0,13		25,49	0,57	0,01		1,44	0,52	0,07	0,02	0,04	0,00	28,42
J				0,02		3,09	22,19	0,02		0,12	0,06	0,01		0,00	0,00	25,51
JJ		0,02				0,04	0,00	0,01		0,01			0,02	0,02	0,00	0,12
O									0,00							0,00
P		0,08	0,11	0,10		1,56	0,14	0,00		7,63	0,33			0,02		9,99
Q		0,39	0,03	0,17		0,71	0,01			0,28	7,77		0,02	0,00		9,37
R						0,04	0,07			0,00		0,46				0,58
S		0,00											0,14	0,02		0,17
U		0,03				0,01							0,00	4,61	0,00	4,65
V		0,02								0,01	0,00				0,31	0,34
Total (%)	0,03	18,61	0,43	1,12	0,24	31,44	23,02	0,06	0,00	9,72	9,26	0,54	0,20	4,90	0,44	100,00

Tabela 5.2 – Tabela 5.3 – Matriz de transição das categoriais de ocupação e uso do solo entre a 2000 e 2012 (%).

COS 2000	A	C	E	F	H	I	J	JJ	O	P	Q	R	S	U	V	Total (%)
A	0,00	0,01				0,01										0,03
C	0,04	15,68	0,02	0,22		0,89	0,01			0,08	1,34	0,00	0,04	0,19	0,10	18,61
E		0,00	0,33	0,01		0,04				0,03	0,01					0,43
F		0,02	0,01	0,76		0,09	0,02			0,01	0,17	0,03		0,01		1,12
H					0,24											0,24
I	0,01	0,22	0,27	0,20		24,35	3,52	0,04		1,87	0,78	0,05	0,05	0,06	0,02	31,44
J		0,00	0,02	0,01		2,04	20,76	0,01		0,14	0,01	0,01	0,00	0,00		23,01
JJ		0,00		0,00		0,03		0,01					0,01	0,01		0,06
O		0,00							0,00							0,00
P		0,14	0,15	0,31		1,91	0,21	0,02		6,25	0,60	0,02	0,06	0,03	0,01	9,72
Q	0,00	0,30	0,08	0,33	0,00	0,75	0,05	0,00		0,67	6,96	0,10		0,01		9,26
R				0,01		0,16	0,05			0,06	0,01	0,24				0,54
S		0,00				0,00					0,00		0,17	0,02		0,20
U		0,10				0,01				0,00			0,00	4,78		4,90
V	0,01	0,04				0,01				0,00	0,02		0,00	0,00	0,37	0,44
Total (%)	0,06	16,54	0,88	1,86	0,24	30,30	24,62	0,09	0,00	9,12	9,91	0,44	0,33	5,11	0,49	100

5.3 Análise dos cenários de prospectiva de ocupação e uso do solo

A previsão no *Land Change Modeler* obteve-se a projeção das transições potenciais e a projeção das mudanças para 2020. As projeções das transições potenciais para os três cenários (Figura 5.18) fornecem uma avaliação abrangente do potencial de mudança da área de estudo. Grande parte da área de estudo apresenta um elevado potencial de mudança para outra categoria independentemente do tipo de cenário. A área que apresenta menor potencial para mudar é zona de vale do rio Vez (a verde) que é precisamente o local onde o Homem alterou mais intensamente o solo com o desenvolvimento urbano.

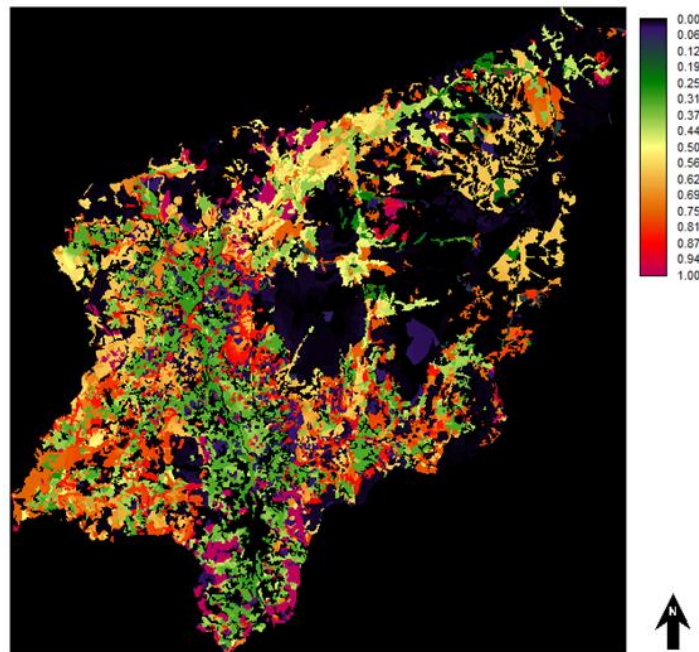


Figura 5.18 – Projeção das transições potenciais para 2020.

5.3.1 Cenário 1 - Continuidade

O cenário 1 (Figura 5.19) é um cenário de continuidade em que o modelo usa a tendência das mudanças que ocorreram entre 2000 e 2012 e cria uma matriz de transição para projetar a ocupação e uso do solo para 2020. Neste cenário comparativamente a carta de ocupação e uso do solo de 2012 verifica-se a diminuição das áreas de culturas anuais [C], de ocupação arbustiva e herbácea [I], de pinheiro [P] e em menor extensão as áreas de vinha [V], espaço urbano [U], infraestruturas e equipamentos [S]. As classes em que se provêm aumento destacam-se as áreas de sem ou com pouca vegetação [J], em maior extensão e em menor dimensão, as áreas florestais de carvalho [Q], eucalipto [E] e folhosas [F].

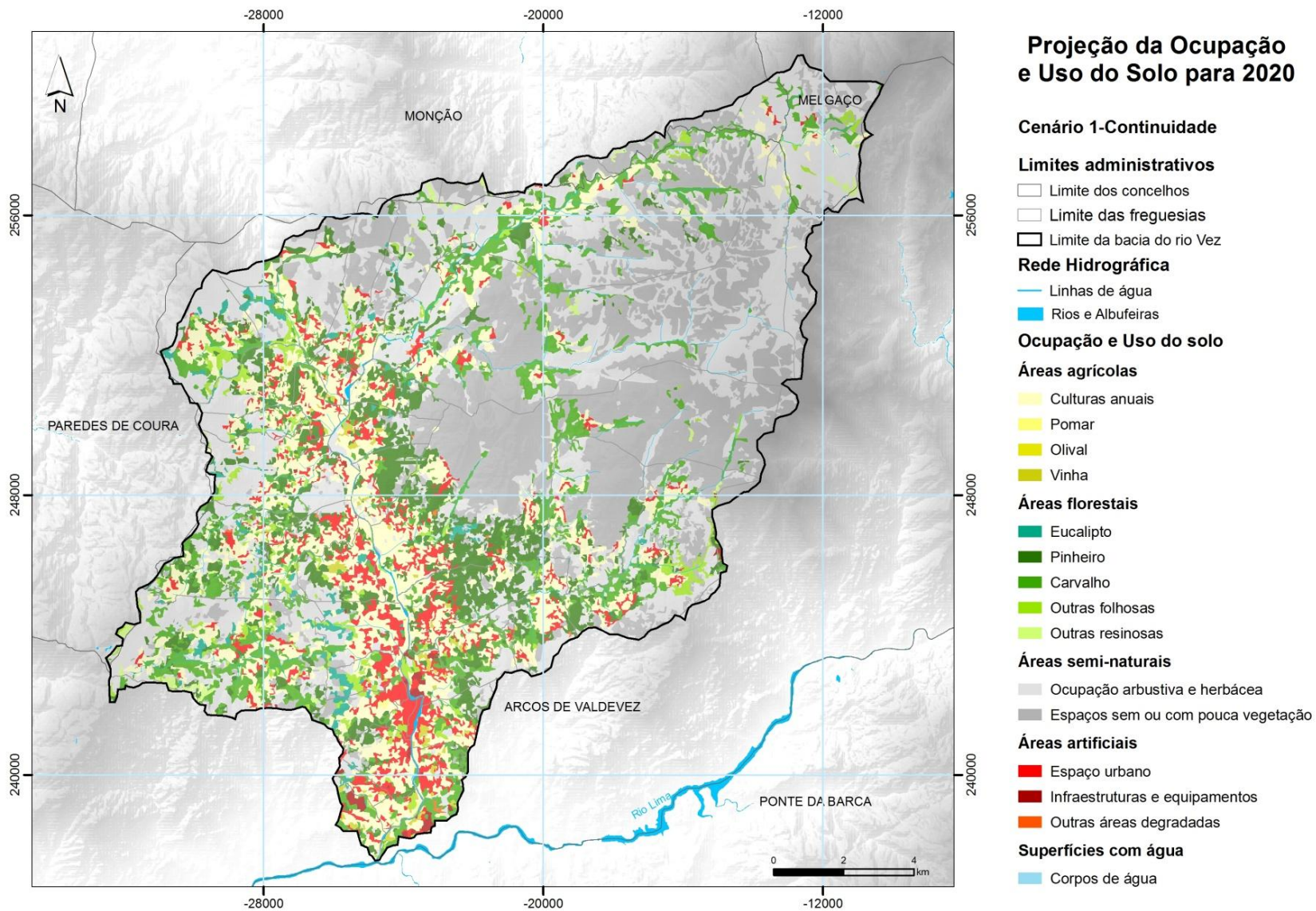


Figura 5.19 – Cenário preditivo da Ocupação e Uso do solo para ocupação do solo

Tabela 5.4 – Resultado dos cenários para ocupação e uso do solo para 2020 em hectares.

Categorias	Ocupação e Uso do Solo 2012	Cenários 2020		
		1 Continuidade	2 Povoamento e dinamização económica	3 Abandono e renaturalização
A	15,76	15,90	15,92	15,90
C	4348,00	4050,10	4275,01	3970,23
E	231,70	278,38	1018,45	278,44
F	489,48	618,79	584,70	1255,03
H	63,74	62,67	62,77	62,58
I	7961,12	7811,14	7218,17	8353,48
J	6470,90	6697,13	6714,87	6546,68
JJ	23,87	23,21	23,25	23,26
O	0,00	0,00	0,00	0,00
P	2395,41	2378,52	3229,68	1727,58
Q	2603,43	2654,07	1446,88	2356,32
R	115,81	115,93	115,80	115,88
S	87,70	87,57	87,59	87,59
U	1342,33	1336,66	1336,89	1336,91
V	128,59	127,11	127,03	127,09

5.3.2 Cenário 2 - Povoamento e dinamização económica

O cenário de povoamento e dinamização económica (Figura 5.20) é caracterizado por políticas de desenvolvimento agrícolas e florestais destinadas a aumentar o valor ecológico e económico do território e evitar o abandono do solo e consequente degradação. As Medidas agroflorestais representam 55% mudanças neste cenário. Este cenário revela duas tendências que dão informações valiosas sobre os impactos das políticas do solo comparativamente ao cenário de continuidade: a dinamização do sector agrícola com o aumento da área agrícola a partir da transição de áreas de carvalho [Q] e do sector florestal para exploração contribuindo para um grande aumento das categorias do eucalipto [E] e pinheiro [P]. O aumento de eucalipto [E] e pinheiro [P] representa 11% e 27% da mudança respetivamente e resulta principalmente da transição de ocupação arbustiva e herbácea [I]. Os aumentos das áreas de eucalipto [E] distribuem-se predominantemente ao longo da margem Oeste do rio Vez em substituição das áreas com ocupação arbustiva e herbácea [I] (2,90% relativamente a 2012). As novas áreas de pinheiro [P] também resultam da conversão das áreas com ocupação arbustiva e herbácea [I] (5,49% relativamente a Cos de 2012) e localizam-se principalmente na zona mais a Nordeste da bacia em estudo e reforça

as manchas de pinheiro já existente ao longo da margem Este do rio Vez. Como é espectável uma diminuição das manchas com ocupação arbustiva e herbácea [I] (Tabela 5.4) em resultado do incentivo a dinamização florestal que nos demonstra que resultou num aumento florestal.

Ainda se verifica uma diminuição da categoria [Q] que se converteu principalmente em culturas anuais [C] (1,24% relativamente à COS 2012) em resposta ao incentivos previsto neste cenário para o crescimento da área agrícola. Neste cenário, é possível traçar um ligeiro acréscimo da área urbana [U] (Tabela 5.4) relativamente ao cenário de continuidade resultando das políticas destinadas ao desenvolvimento económico e atração da população.

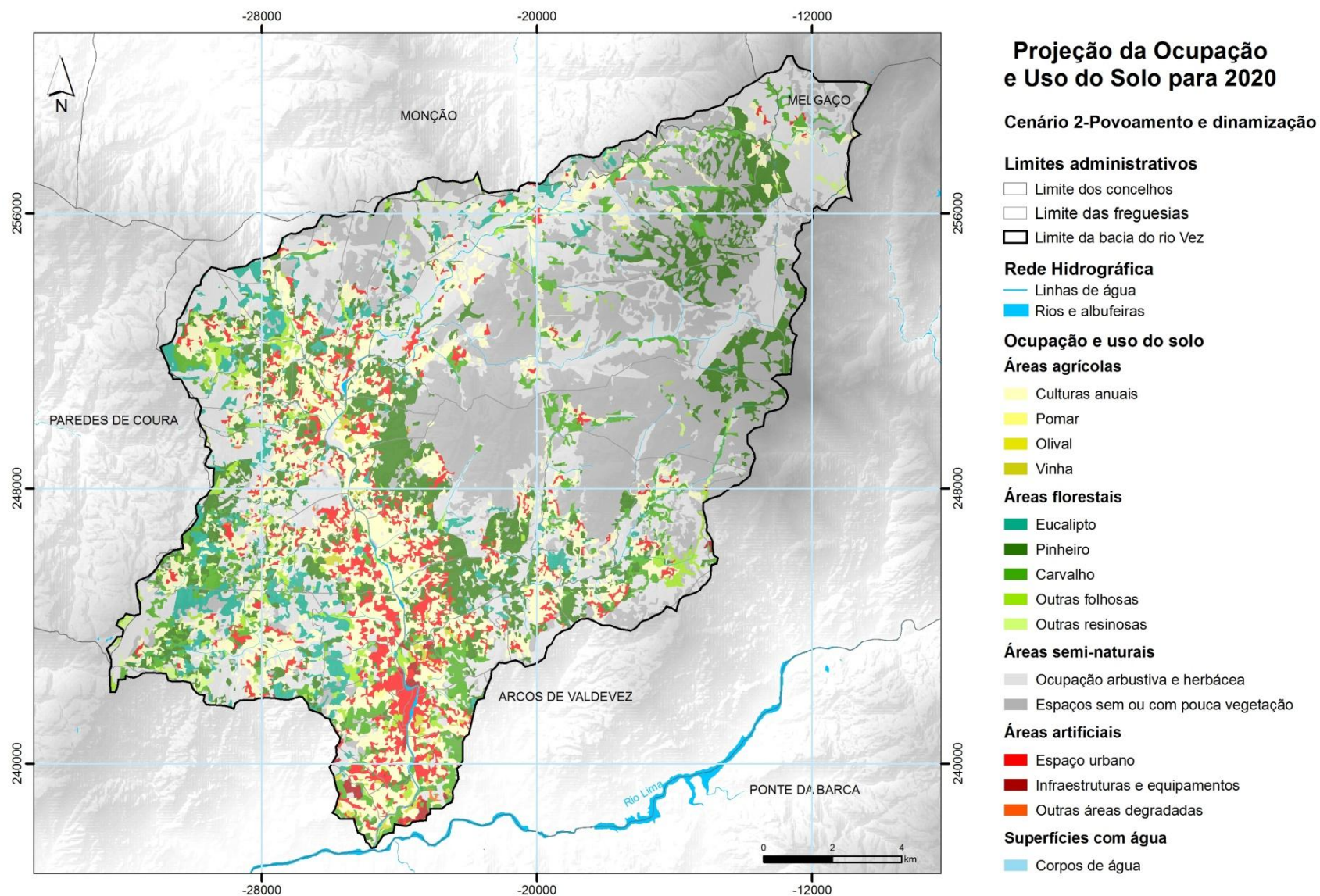


Figura 5.20 – Predição da ocupação e uso do solo para 2020 segundo um cenário de povoamento e dinamização do território (cenário 2).

5.3.3 Cenário 3 - abandono e renaturalização

O cenário de abandono e renaturalização (Figura 5.21) ao manter políticas que conduzem a diminuição populacional e envelhecimento destes espaços do interior e marginais às dinâmicas de desenvolvimento das centralidades locais contribuem para o aumento do abandono da agricultura como as culturas anuais [C] e a vinha [V]. As áreas agrícolas abandonadas incluem-se em áreas economicamente desfavorecidas nas zonas de montanha que são modificadas para novas áreas de ocupação arbustiva e herbácea [I] e carvalho [Q]. Estas transições também ocorrem na zona de vale assim como o surgimento de novas áreas urbanas no lugar das áreas agrícolas (Tabela 5.4).

Este cenário caracteriza-se pela renaturalização do ambiente natural verificando-se um aumento das folhosas [F] (Tabela 5.4) resultantes da transição de áreas carvalho [Q] (2,30%) e de pinheiro [P] (0,46% relativamente à COS 2012). Este aumento distribui-se espacialmente um pouco por toda a área de estudo.

Dos três cenários, este é o que apresenta mais área de incultos [I] em resposta aos processos de degradação que advém destas políticas (Tabela 5.4). Este aumento resulta, relativamente à COS 2012, da conversão de áreas de pinheiro [P] (3,56%), de carvalho [Q] (2,12%), de espaços sem ou com pouca vegetação [J] (1,47%) e de culturas anuais [C] (0,65%) o que faz com estas quatro categorias tenham diminuído. Apesar de haver uma da área de carvalho [Q] é possível destacar novas áreas de carvalho na zona mais a Nordeste da área de estudo resultantes da conversão de áreas com ocupação arbustiva e herbácea [I] (2,72%). Também houve áreas de culturas anuais [C] (1,48%) e pinheiro [1,34%) transformadas em áreas de carvalho [Q].

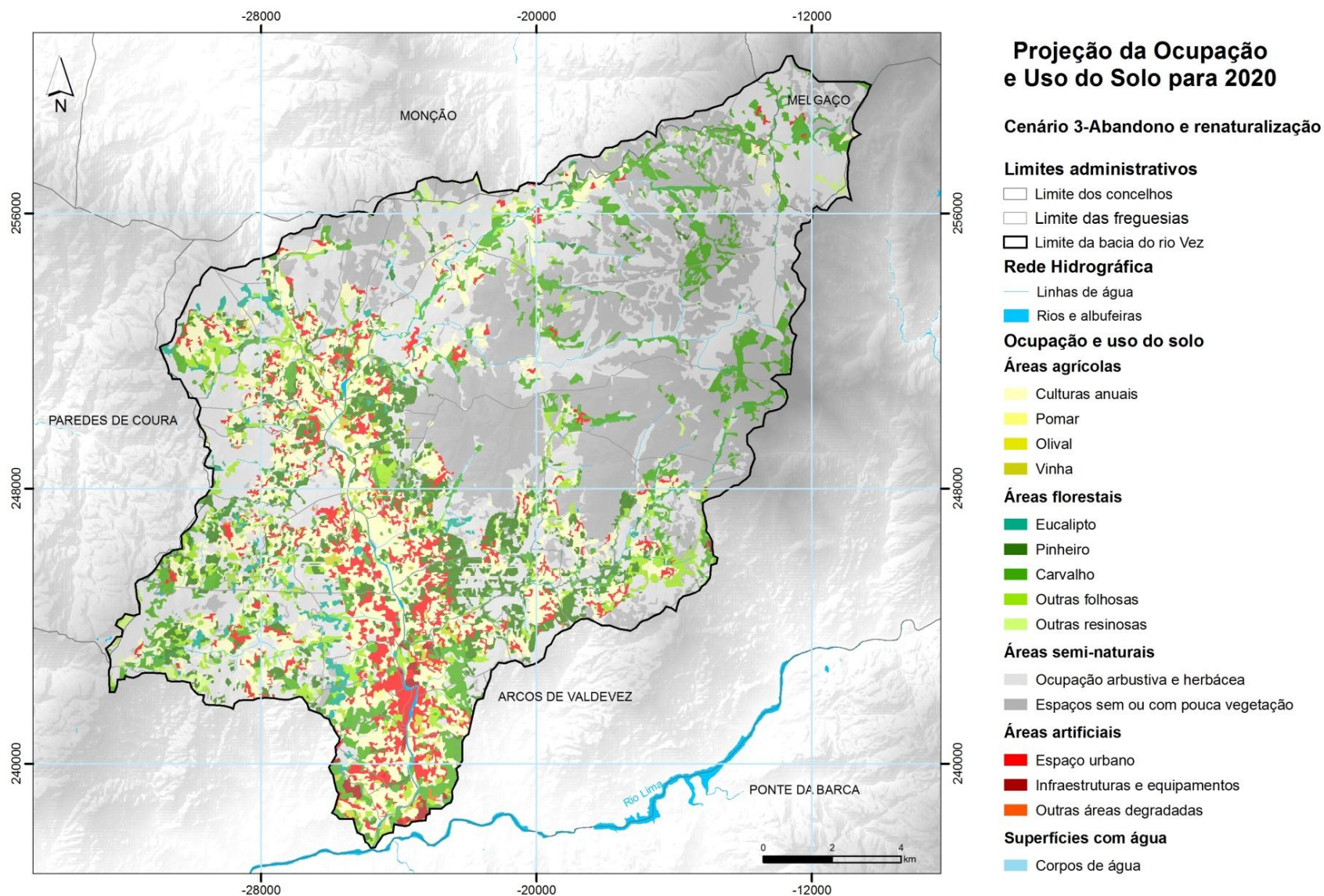


Figura 5.21 – Projeção das transições potenciais para 2020 para o cenário 3-abandono e renaturalização.

6 CONCLUSÕES

O contexto e interesse deste trabalho decorrem da crescente modificação das paisagens numa grande variedade de formas e para variadas finalidades. As mudanças estão associadas a vários promotores e atores que desencadeiam mudanças rápidas e muitas vezes irreversíveis. O objetivo principal desta dissertação consistiu em analisar as mudanças da ocupação e uso do solo ao longo de uma série temporal e determinar quais os seus promotores bem como, elaborar e modelar três cenários de ocupação e uso do solo para 2020.

A ocupação e uso do solo da bacia hidrográfica do rio Vez apresenta genericamente os padrões típicos do Alto Minho, com instalação das áreas urbanas na zona de vale e ao longo da rede viária e com a presença de áreas agrícolas de montanha e na zona de vale e com uma grande extensão ocupada por áreas semi-naturais.

O quadro de análise das mudanças da ocupação e uso do solo utilizado neste estudo mostrou-se adequado para a descrição das mudanças ocorridas na bacia hidrográfica do rio Vez. As principais mudanças identificadas na série temporal utiliza foram o aumento das áreas com ocupação arbustiva e herbácea [I], o crescimento do tecido urbano [U] e infraestruturas e equipamentos [S] principalmente na zona de vale, abandono das áreas agrícolas (culturas anuais [C]) contribuindo para o aumento das áreas de carvalho [Q] e outras folhosas [F] principalmente na proximidade das linhas de água. Relativamente a área florestal foi notória a perda de áreas de pinheiro [P] e resinosas [R] e o aumento das áreas de eucalipto [E], folhosas [F] e de carvalho [Q].

A extensão das áreas semi-naturais e o seu aumento ao longo da série temporal em estudo corrobora a importância dos incêndios florestais na dinâmica das mudanças da ocupação e uso do solo. A conversão das áreas de carvalho [Q] e pinheiro [P] em meios semi-naturais, principalmente em áreas de vegetação arbustiva e herbácea [I], indicia a importância dos incêndios na dinâmica da área dos meios semi-naturais. Também é notória a dinâmica e transferência de área entre as áreas de vegetação arbustiva e herbácea [I] e áreas sem ou com pouca vegetação [J], quando aumenta uma diminui a outra em resultado do ciclo dos incêndios e recuperação do ecossistema após o incêndio.

O aumento e intensificação das áreas urbanas na zona de vale contribui para a impermeabilização das zonas mais baixas em paralelo ao aumento das áreas semi-naturais

nas zonas mais altas da área de estudo pode intensificar e/ou aumentar os fenómenos de cheias e inundações.

A análise da predição para 2020 dos três cenários elucidou como as decisões políticas e opções dos utilizadores podem influenciar as decisões e os padrões de ocupação do solo. O cenário de continuação seguiu a tendência verificada entre 2000 e 2012 exceto nas áreas degradadas [JJ], nas infraestruturas e equipamentos [S] e na vinha [V] que diminuiram.

O cenário 3 destacou como o risco de abandono é um fenómeno importante que caracteriza a paisagem rural da bacia hidrográfica do rio Vez. O abandono das áreas agrícolas na zona de montanha é um fenómeno muito complexo que ameaça séculos de uso tradicional do solo associada a qualidade cénica, ao património cultural e aos seus valores ecológicos e económicos relevantes (biodiversidade, serviços de ecossistema, conservação da água, produção de forragem, produtos lácteos, estética e atratividade para turismo) num contexto de mudanças ambientais globais e aumento da necessidade de fornecimento de alimentos (Monteiro et al., 2011).

A contínua manutenção das paisagens rurais é essencial a vários níveis. Estes espaços desempenham um papel fundamental na manutenção da paisagem e das identidades culturais características desta região. O sector económico é favorecido pela continuação das áreas rurais como paisagens culturais já que constituem na europa um local diário de visitas e são particularmente importantes em termos de território (Kanińska et al., 2014). Neste sentido é importante assinalar a diminuição de 2,89% das áreas agrícolas na bacia hidrográfica do rio Vez entre 1990 e 2012.

Com políticas que incentivem o melhoramento e dinamização do sector agrícola e florestal, como foi demonstrado pelo cenário 2 neste trabalho é possível obter um aumento das áreas agrícolas e florestais de exploração (eucalipto [E] e pinheiro [P]) e consequentemente diminuição das áreas de ocupação arbustiva e herbácea [I] com benefícios para economia local e aumento do tecido urbano.

Em suma, a predição para 2020 demonstrou que o potencial de mudança é elevado em grande parte da área de estudo. A identificação das áreas de elevado potencial de mudança é muito importante e uma ferramenta indispensável para gestão e planeamento sustentável do solo potenciando tomadas de decisão políticas e técnicas mais adequadas.

A metodologia e a ferramenta de modelação utilizadas neste trabalho evidenciaram-se eficazes e capazes de demonstrar as vulnerabilidades bem como a resiliência do território em estudo quando sujeito a variados promotores de alteração. As projeções obtidas com o modelo *Land Change Modeler*, são baseadas nas taxas de transição observadas entre as duas cartas de ocupação e uso do solo e o modelo pressupõe que se mantém no período de simulação, o que por vezes pode não acontecer. A estrutura rígida deste modelo ao não permitir gerir as taxas e padrões de mudança na predição pelo utilizador pode ser uma menos-valia no estudo de mudanças e cenários concretos que o utilizador pretenda avaliar. Para contornar este obstáculo é necessário uma matriz de transição exterior ao modelo. Relativamente às metodologias aplicadas existiram algumas limitações na utilização de variáveis económicas e sociais no modelo de predição da ocupação e uso do solo para 2020 devido à insuficiência de dados ou dificuldade em espacializar tendências e fenómenos e materializa-las em variáveis quantitativas. Como é o caso da informação sobre os proprietários do solo (idade e escolaridade por exemplo), mercados e políticas ligadas aos serviços prestados pelo solo e tendências e políticas ambientais e socioeconómicas.

Em conclusão, é importante obter a monitorização das mudanças da ocupação e uso do solo em intervalos temporais menores e sucessivos para obtermos um padrão de comportamento e uma análise contínua dos impactos das políticas de ordenamento e gestão no solo. Para tal, é importante ter uma extensa e atualizada base de dados sobre a ocupação e uso do solo que além de ser importante para este tipo de estudo é fundamental para outros estudo que vão desde do ordenamento do território s, serviços de ecossistema, riscos e entre outros.

Como podemos concluir com este trabalho há muitas e importantes mudanças que estão ocorrer e com grandes impactos a níveis com impactos sobre a estrutura, o funcionamento da unidade de análise e distribuição da forma de ocupação e uso do solo. Em termos de aplicações, a informação base utilizada foram as cartas de ocupação e uso do solo que permite a obtenção de enumeras informações mais complexas sobre outros temas além dos abordados neste trabalho, constituindo uma informação muito importante para diversos estudos e finalidades.

As informações existentes em relação as mudanças de ocupação e uso do solo ainda são poucas e a importância deste tema é emergente. Em termos de trabalho futuro, poderia proceder-se à elaboração de Cartas de Ocupação e Uso do Solo (COS) com intervalos de

tempo menores e uma série temporal mais longa para que na continuidade do presente trabalho e através de uma metodologia de avaliação seja possível monitorizar com mais periodicidade as mudanças solo e obtermos dados históricos de mudança. O que permitiria em trabalhos futuros avaliar os impactos da mudança da ocupação e uso do solo ao nível dos serviços dos ecossistemas e dos riscos naturais. Em simultâneo era importante testar mais variáveis que possam influenciar a mudança como variáveis socioeconómicas e incluí-las no modelo para se obter um modelo mais robusto e próximo da realidade.

Essa metodologia e modelo poderiam constituir a base para a criação de sistema de apoio inovador aos responsáveis pela gestão e planeamento do solo, que integraria diferentes bases de dados relevantes para a avaliação das mudanças, do conhecimento dos promotores e os seus impactes, visando promover uma melhor compreensão dos processos intensos de mudança do solo.

7 BIBLIOGRAFIA

- Abrantes, A., Carvalho, R., Farinha, N., Morgado, P., Pereira, H., Rocha, J., 2001. Cartografia de uso/ocupação do solo por fotointerpretação. Um exemplo de análise sobre o concelho de Oeiras. Actas do V Congresso da APG, Guimarães, p. 22.
- Alimohammadlou, Y., Najafi, A., Yalcin, A., 2013. Landslide process and impacts: A proposed classification method. *Catena* 104, 219–232. doi:10.1016/j.catena.2012.11.013
- Almeida, J.A.G. de, 2013. Os serviços dos ecossistemas na valorização dos espaços agrícolas : perspectivas gerais e aplicação a um território rural de montanha Os serviços dos ecossistemas na valorização dos espaços agrícolas : perspectivas gerais e aplicação a um território rural d. Universidade do Porto.
- Alonso, J., Martins, I., Guerra, C., Castro, P., 2013. Spatial data quality assessment and WEBGIS institutional capacity building development, in: *Information Systems and Technologies (CISTI)*. IEEE, Lisboa, pp. 1–6.
- Alonso, J.M., 2008. As condições naturais e o território de Ponte de Lima, Município de Ponte de Lima.
- Alves, H., 2004. Análise dos fatores associados às mudanças na terra no Vale do Ribeira através da integração de dados censitários e de sensoriamento remoto, Análise dos fatores associados às mudanças na terra no Vale do Ribeira através da integração de dados censitários e de sensoriamento remoto. *Textos Nepo* 47, Campinas.
- Antrop, M., 1998. Landscape change: Plan or chaos? *Landscape and Urban Planning* 41, 155–161. doi:10.1016/S0169-2046(98)00068-1
- Bagan, H., Wang, Q., Watanabe, M., Yang, Y., Ma, J., 2005. Land cover classification from MODIS EVI times-series data using SOM neural network. *International Journal of Remote Sensing* 26, 4999–5012. doi:10.1080/01431160500206650
- Bakker, M.M., Van Doorn, A.M., 2009. Farmer-specific relationships between land use change and landscape factors: Introducing agents in empirical land use modelling. *Land Use Policy* 26, 809–817. doi:10.1016/j.landusepol.2008.10.010
- Baysal, G., 2013. Urban Land Use and Land Cover Change Analysis And Modeling. A Case study area Malatya, Turkey. Universidade Nova de Lisboa.
- Beguería, S., 2006. Changes in land cover and shallow landslide activity: A case study in the Spanish Pyrenees. *Geomorphology* 74, 196–206. doi:10.1016/j.geomorph.2005.07.018

- Bishop, C.M., 1995. *Neural Networks for Pattern Recognition*. Oxford University Press, Oxford.
- Briassoulis, H., 2000. *Analysis of Land Use Change: Theoretical and Modeling Approaches*. The Web Book of Regional Science. URL <http://www.rri.wvu.edu/Webbook/Briassoulis/contents.htm> (accessed 11.20.14).
- Caetano, Mário, Santos, T., Gonçalves, L., 2002. *Cartografia de Ocupação do Solo com Imagens de Satélite : estado da arte*. Proceedings of the ESIG'2002-VII Encontro de Utilizadores de Informação Geográfica 11.
- Calvo-Iglesias, M.S., Fra-Paleo, U., Diaz-Varela, R.A., 2009. Changes in farming system and population as drivers of land cover and landscape dynamics: The case of enclosed and semi-openfield systems in Northern Galicia (Spain). *Landscape and Urban Planning* 90, 168–177. doi:10.1016/j.landurbplan.2008.10.025
- Clark Labs, 2009. IDRISI Focus Paper on Land Change Modeler. URL <http://clarklabs.org/applications/upload/Land-Change-Modeler-IDRISI-Focus-Paper.pdf> (accessed 10.27.14).
- Clark Labs, 2012. IDRISI Spotlight : Land Change Modeler [WWW Document]. URL <http://www.clarklabs.org/resources/upload/LCM-Spotlight.pdf> (accessed 10.27.14).
- Clerici, N., Paracchini, M.L., Maes, J., 2014. Land-cover change dynamics and insights into ecosystem services in European stream riparian zones. *Ecohydrology & Hydrobiology* 14, 107–120. doi:10.1016/j.ecohyd.2014.01.002
- Coelho, I.S., 2003. *Propriedade da Terra e Política Florestal em Portugal*. Silva Lusitana 11, 185–199.
- Comber, a. J., Wadsworth, R. a., Fisher, P.F., 2008. Using semantics to clarify the conceptual confusion between land cover and land use : the example of “forest”. *Journal of Land Use Science* 3, 185–198. doi:10.1080/17474230802434187
- Dymond, J.R., Shepherd, J.D., Qi, J., 2001. A Simple Physical Model of Vegetation Reflectance for Standardising Optical Satellite Imagery. *Remote Sensing of Environment* 75, 350–359. doi:10.1016/S0034-4257(00)00178-4
- Eastman, J.R., 2012. IDRISI Selva Manual Chapter One : IDRISI Selva Introduction 1–324.
- Eastman, R., Jin, W., Kyem, P.A.K., Toledano, J., 1995. for Procedures Raster Decisions M ulti-Criteria. *Photogramm Eng Remote Sens* 61, 539–547.

- Etter, A., McAlpine, C., Pullar, D., Possingham, H., 2006. Modelling the conversion of Colombian lowland ecosystems since 1940: drivers, patterns and rates. *Journal of environmental management* 79, 74–87. doi:10.1016/j.jenvman.2005.05.017
- Falcucci, A., Maiorano, L., Boitani, L., 2007. Changes in land-use/land-cover patterns in Italy and their implications for biodiversity conservation. *Landscape Ecology* 22, 617–631. doi:10.1007/s10980-006-9056-4
- Fernandes, S., 2006. *Análise da Evolução da Ocupação do Solo: Aplicação com base num SIG para o Parque Nacional Peneda-Gerês*. Instituto Politécnico de Viana do Castelo.
- Filho, B.S.S., 1998. *Análise de paisagem: Fragmentação e mudanças*. Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.
- García-Mora, T.J., Mas, J.-F., Hinkley, E. a., 2012. Land cover mapping applications with MODIS: a literature review. *International Journal of Digital Earth* 5, 63–87. doi:10.1080/17538947.2011.565080
- García-Ruiz, J.M., 2010. The effects of land uses on soil erosion in Spain: A review. *CATENA* 81, 1–11. doi:10.1016/j.catena.2010.01.001
- Geist, H., McConnell, W., Lambin, E.F., Moran, E., Alves, D., Rudel, T., 2006. Causes and Trajectories of Land-Use/Cover Change, in: *Land-Use and Land-Cover Change*. Springer Berlin Heidelberg, pp. 41–70. doi:10.1007/3-540-32202-7_3
- Gerlach, J.D., 2004. The impacts of serial land-use changes and biological invasions on soil water resources in California, USA. *Journal of Arid Environments* 57, 365–379. doi:10.1016/S0140-1963(03)00102-2
- Godoy, F.L. de O., Rojas, E.H.M., 2013. Modeling deforestation to REDD+ Project: a case study in Alto Mayo Protected Forest, San Martin Region, Peru. *Anais XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, Foz do Iguaçu, PR, Brasil*.
- Grimm, M., Jones, R., Montanarella, L., 2002. Soil Erosion Risk in Europe.
- Guan, D., Li, H., Inohae, T., Su, W., Nagaie, T., Hokao, K., 2011. Modeling urban land use change by the integration of cellular automaton and Markov model. *Ecological Modelling* 222, 3761–3772. doi:10.1016/j.ecolmodel.2011.09.009
- Haberl, H., Wackernagel, M., Wrbka, T., 2004. Land use and sustainability indicators. An introduction. *Land Use Policy* 21, 193–198. doi:10.1016/j.landusepol.2003.10.004
- Hersperger, A.M., Bürgi, M., 2009. Going beyond landscape change description: Quantifying the importance of driving forces of landscape change in a Central Europe case study. *Land Use Policy* 26, 640–648. doi:10.1016/j.landusepol.2008.08.015

- ICNF, 2013. IFN6 - Áreas dos usos do solo e das espécies florestais de Portugal continental em 1995, 2005 e 2010. Resultados preliminares.
- Instituto Geográfico Português, 2010. Carta de Uso e Ocupação do Solo de Portugal Continental para 2007 (COS2007) - Memoria descritiva.
- Kamusoko, C., Aniya, M., Adi, B., Manjoro, M., 2009. Rural sustainability under threat in Zimbabwe – Simulation of future land use/cover changes in the Bindura district based on the Markov-cellular automata model. *Applied Geography* 29, 435–447. doi:10.1016/j.apgeog.2008.10.002
- Kanianska, R., Kizeková, M., Nováček, J., Zeman, M., 2014. Land-use and land-cover changes in rural areas during different political systems: A case study of Slovakia from 1782 to 2006. *Land Use Policy* 36, 554–566. doi:10.1016/j.landusepol.2013.09.018
- Klein, I., Gessner, U., Kuenzer, C., 2012. Regional land cover mapping and change detection in Central Asia using MODIS time-series. *Applied Geography* 35, 219–234. doi:10.1016/j.apgeog.2012.06.016
- Lambin, E.F., 1994. Modelling deforestation processes: a review. EUROPEAN COMMISSION, Luxembourg.
- Lambin, E.F., Geist, H., Rindfuss, R.R., Alcamo, J., Busch, G., Chhabra, A., Kok, K., Mather, A.S., McConnell, W., Jr., R.G.P., Priess, J.A., Ramankutty, N., Reid, R., Tomich, T.P., Veldkamp, A., Verburg, P.H., Xu, J., 2006. *Land-Use and Land-Cover Change*. Springer, 1-70.
- Lambin, E.F., Turner, B.L., Geist, H.J., Agbola, S.B., Angelsen, A., Bruce, J.W., Coomes, O.T., Dirzo, R., Fischer, G., Folke, C., George, P.S., Homewood, K., Imbernon, J., Leemans, R., Li, X., Moran, E.F., Mortimore, M., Ramakrishnan, P.S., Richards, J.F., Skånes, H., Steffen, W., Stone, G.D., Svedin, U., Veldkamp, T.A., Vogel, C., Xu, J., 2001. The causes of land-use and land-cover change: moving beyond the myths. *Global Environmental Change* 11, 261–269. doi:10.1016/S0959-3780(01)00007-3
- Le Maitre, D.C., Kotzee, I.M., O’Farrell, P.J., 2014. Impacts of land-cover change on the water flow regulation ecosystem service: Invasive alien plants, fire and their policy implications. *Land Use Policy* 36, 171–181. doi:10.1016/j.landusepol.2013.07.007
- Leh, M., Bajwa, S., Chaubey, I., 2011. Impact of land use change on erosion risk : An integrated remote sensing , geographic information system and modeling methodology. Wiley Online Library. doi:10.1002/ldr.1137
- Malczewski, J., 2004. GIS-based land-use suitability analysis: a critical overview. *Progress in Planning* 62, 3–65. doi:10.1016/j.progress.2003.09.002

- Marcucci, D.J., 2000. Landscape history as a planning tool. *Landscape and Urban Planning* 49, 67–81. doi:10.1016/S0169-2046(00)00054-2
- Marinelli, N., 2010. Evaluation of Landscape Impacts and Land Use Change : a Tuscan Case Study for CAP Reform Scenarios 1–29.
- Mendoza, M.E., Granados, E.L., Geneletti, D., Pérez-Salicrup, D.R., Salinas, V., 2011. Analysing land cover and land use change processes at watershed level: A multitemporal study in the Lake Cuitzeo Watershed, Mexico (1975–2003). *Applied Geography* 31, 237–250. doi:10.1016/j.apgeog.2010.05.010
- Meyer, W.B., Turner, B.L.I., 1996. Land-use/land-cover change: challenges for geographers. *GeoJournal* 39, 237–240. doi:10.1007/BF00188373
- Meyfroidt, P., Lambin, E.F., Erb, K.-H., Hertel, T.W., 2013. Globalization of land use: distant drivers of land change and geographic displacement of land use. *Current Opinion in Environmental Sustainability* 5, 438–444. doi:10.1016/j.cosust.2013.04.003
- Millennium Ecosystem Assessment, 2005. *Ecosystems and human well-being: Synthesis, Ecosystems and Human Well-being: Synthesis*. Island Press, Washington.
- Millennium Ecosystem Assessment, 2005. *Cultivated Systems*, in: *Ecosystems and Human Well-being: Current State and Trends*, Volume 1. Island Press, Washington.
- Miranda, P.M.A., Valente, M.A., Tomé, A.R., Trigo, R., Coelho, M.F.E.S., Aguiar, A., Azevedo, E.B., 2002. O clima de Portugal nos séculos XX e XXI, in: *Alterações Climáticas Em Portugal - Cenários, Impactos e Medidas de Adaptação*. GRADIVA - Publicações, Lda^a, pp. 49–113.
- Monteiro, A.T., Fava, F., Hiltbrunner, E., Della Marianna, G., Bocchi, S., 2011. Assessment of land cover changes and spatial drivers behind loss of permanent meadows in the lowlands of Italian Alps. *Landscape and Urban Planning* 100, 287–294. doi:10.1016/j.landurbplan.2010.12.015
- Munteanu, C., Kuemmerle, T., Boltziar, M., Butsic, V., Gimmi, U., Kaim, D., Király, G., Konkoly-Gyuró, É., Kozak, J., Lieskovský, J., Moyses, M., Müller, D., Ostafin, K., Ostapowicz, K., Shandra, O., Štych, P., Walker, S., Radeloff, V.C., 2014. Forest and agricultural land change in the Carpathian region-A meta-analysis of long-term patterns and drivers of change. *Land Use Policy* 38, 685–697. doi:10.1016/j.landusepol.2014.01.012
- Newman, M.E., McLaren, K.P., Wilson, B.S., 2014. Long-term socio-economic and spatial pattern drivers of land cover change in a Caribbean tropical moist forest, the Cockpit Country, Jamaica. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 186, 185–200. doi:10.1016/j.agee.2014.01.030

- Nunes, A.N., De Almeida, A.C., Coelho, C.O.A., 2011. Impacts of land use and cover type on runoff and soil erosion in a marginal area of Portugal. *Applied Geography* 31, 687–699. doi:10.1016/j.apgeog.2010.12.006
- Nyssen, J., Frankl, A., Haile, M., Hurni, H., Descheemaeker, K., Crummey, D., Ritler, A., Portner, B., Nievergelt, B., Moeyersons, J., Munro, N., Deckers, J., Billi, P., Poesen, J., 2014. Environmental conditions and human drivers for changes to north Ethiopian mountain landscapes over 145years. *The Science of the total environment* 485–486, 164–79. doi:10.1016/j.scitotenv.2014.03.052
- Oliveira, P.A. de, 2005. Caracterização da ocupação do solo com recurso á aplicação de modelos de misturas espectrais em séries multi-temporais de imagens MODIS. Universidade Nova de Lisboa.
- Oliveira, P., Gonçalves, P., Caetano, M, 2005. Land cover time profiles from linear mixture models applied to MODIS images, in: *Proceedings of the 31st International Symposium on Remote Sensing of Environment*. St. Petersburg, p. 4.
- Paegelow, M., Olmedo, M.T.C., Toribio, J.A.M., 2003. Cadenas de Markov, evaluación multicriterio y evaluación multiobjetivo para la modelización prospectiva del paisaje. *GeoFocus* 22–44.
- Pechanec, V., n.d. Predictive Land Use Modelling in Litovelské Pomoraví PLA 199–207.
- Pedrosa, B.M., Câmara, G., 2004. Modelagem dinâmica e geoprocessamento, in: *nálise Espacial De Dados Geográficos*. EMBRAPA, Brasília, pp. 1–39.
- Pijanowski, B.C., Brown, D.G., Shellito, B.A., Manik, G.A., 2002. Using neural networks and GIS to forecast land use changes: a Land Transformation Model. *Computers, Environment and Urban Systems* 26, 553–575. doi:10.1016/S0198-9715(01)00015-1
- Ribeiro, J.R.D.P., 2007. A detecção remota no inventário florestal. *Análise das potencialidades da utilização das imagens de satélite*. Universidade Nova de Lisboa.
- Richardson, D.M., Pysek, P., Rejmanek, M., Barbour, M.G., Panetta, F.D., West, C.J., 2000. Naturalization and invasion of alien plants: concepts and definitions. *Conservation Biogeography* 6, 93–107. doi:10.1046/j.1472-4642.2000.00083.x
- Rickebusch, S., Metzger, M.J., Xu, G., Vogiatzakis, I.N., Potts, S.G., Stirpe, M.T., Rounsevell, M.D.A., 2011. A qualitative method for the spatial and thematic downscaling of land-use change scenarios. *Environmental Science & Policy* 14, 268–278. doi:10.1016/j.envsci.2010.11.003
- Rounsevell, M.D.A., Metzger, M.J., 2010. Developing qualitative scenario storylines for environmental change assessment. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change* 1, 606–619. doi:10.1002/wcc.63

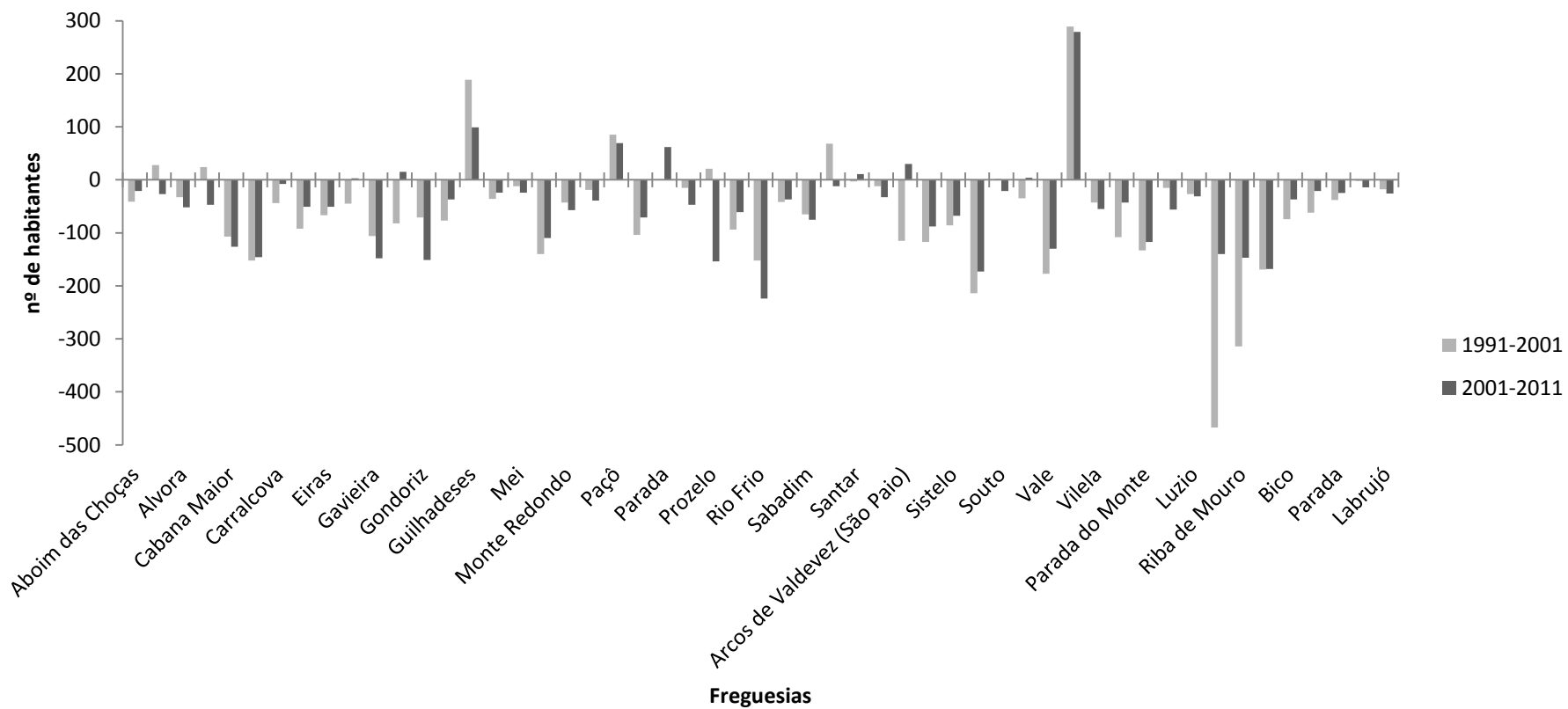
- Rounsevell, M.D.A., Pedrolí, B., Erb, K.-H., Gramberger, M., Busck, A.G., Haberl, H., Kristensen, S., Kuemmerle, T., Lavorel, S., Lindner, M., Lotze-Campen, H., Metzger, M.J., Murray-Rust, D., Popp, A., Pérez-Soba, M., Reenberg, A., Vadineanu, A., Verburg, P.H., Wolfslehner, B., 2012. Challenges for land system science. *Land Use Policy* 29, 899–910. doi:10.1016/j.landusepol.2012.01.007
- Sahalu, A.G., 2014. Analysis of urban land use and land cover changes: A case study in bahir dar, ethiopia. Universidade Nova de Lisboa.
- Sanderson, E.W., Jaiteh, M., Levy, M.A., Redford, K.H., Wannebo, A. V., Woolmer, G., 2002. The human footprint and the last of the wild. *BioScience* 52, 891. doi:10.1641/0006-3568(2002)052[0891:THFATL]2.0.CO;2
- Sangermano, F., Toledano, J., Eastman, J.R., 2012. Land cover change in the Bolivian Amazon and its implications for REDD+ and endemic biodiversity. *Landscape Ecology* 27, 571–584. doi:10.1007/s10980-012-9710-y
- Schneeberger, N., Bürgi, M., Kienast, P.D.F., 2007. Rates of landscape change at the northern fringe of the Swiss Alps: Historical and recent tendencies. *Landscape and Urban Planning* 80, 127–136. doi:10.1016/j.landurbplan.2006.06.006
- Serneels, S., Lambin, E.F., 2001. Proximate causes of land-use change in Narok District, Kenya: a spatial statistical model. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 85, 65–81. doi:10.1016/S0167-8809(01)00188-8
- Serra, P., Pons, X., Saurí, D., 2008. Land-cover and land-use change in a Mediterranean landscape: A spatial analysis of driving forces integrating biophysical and human factors. *Applied Geography* 28, 189–209. doi:10.1016/j.apgeog.2008.02.001
- Silva, M.C., 2000. A agricultura portuguesa, o Estado e a PAC europeia, in: *Sociedade e Cultura 1- Cadernos Do Noroeste*. pp. 51–80.
- Singh, A., 1989. Review Article Digital change detection techniques using remotely-sensed data. *International Journal of Remote Sensing* 10, 989–1003. doi:10.1080/01431168908903939
- Sluiter, R., Jong, S.M., 2006. Spatial patterns of Mediterranean land abandonment and related land cover transitions. *Landscape Ecology* 22, 559–576. doi:10.1007/s10980-006-9049-3
- Stellmes, M., Röder, A., Udelhoven, T., Hill, J., 2013. Mapping syndromes of land change in Spain with remote sensing time series, demographic and climatic data. *Land Use Policy* 30, 685–702. doi:10.1016/j.landusepol.2012.05.007

- Straume, K., 2014. The social construction of a land cover map and its implications for Geographical Information Systems (GIS) as a management tool. *Land Use Policy* 39, 44–53. doi:10.1016/j.landusepol.2014.03.007
- Terra, T.N., Silva, J. dos S.V. da, 2012. Cenário de desmatamento da Bacia do Alto Paraguai (BAP) em 2022 e 2050. *Anais 4º Simpósio de Geotecnologias no Pantanal, Bonito*, pp. 741–749.
- Tomaz, C., Alegria, C., Monteiro, J.M., Teixeira, M.C., 2013. Land cover change and afforestation of marginal and abandoned agricultural land: A 10year analysis in a Mediterranean region. *Forest Ecology and Management* 308, 40–49. doi:10.1016/j.foreco.2013.07.044
- Umbelino, G., Barbieri, A., 2010. XVII Encontro Nacional de Estudos Populacionais, in: *Uso De Autômatos Celulares Em Estudos De População, Espaço e Ambiente*. Caxambu, Brasil, pp. 1–20.
- Veldkamp, T., Lambin, E.F., 2001. Predicting land-use change. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 85, 1–6. doi:10.1016/S0167-8809(01)00199-2
- Verburg, P.H., Van de Steeg, J., Veldkamp, A., Willemen, L., 2009. From land cover change to land function dynamics: a major challenge to improve land characterization. *Journal of environmental management* 90, 1327–1335. doi:10.1016/j.jenvman.2008.08.005
- Vilà, M., Pujadas, J., 2001. Land-use and socio-economic correlates of plant invasions in European and North African countries. *Biological Conservation* 100, 397–401. doi:10.1016/S0006-3207(01)00047-7
- Wasige, J.E., Groen, T.A., Smaling, E., Jetten, V., 2013. Monitoring basin-scale land cover changes in Kagera Basin of Lake Victoria using ancillary data and remote sensing. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* 21, 32–42. doi:10.1016/j.jag.2012.08.005
- Wheater, H., Evans, E., 2009. Land use, water management and future flood risk. *Land Use Policy* 26, S251–S264. doi:10.1016/j.landusepol.2009.08.019
- Wood, R., Handley, J., 2001. Landscape dynamics and the management of change. *Landscape Research* 26, 45–54. doi:10.1080/01426390120024475
- Wu, K., Ye, X., Qi, Z., Zhang, H., 2013. Impacts of land use/land cover change and socioeconomic development on regional ecosystem services: The case of fast-growing Hangzhou metropolitan area, China. *Cities* 31, 276–284. doi:10.1016/j.cities.2012.08.003

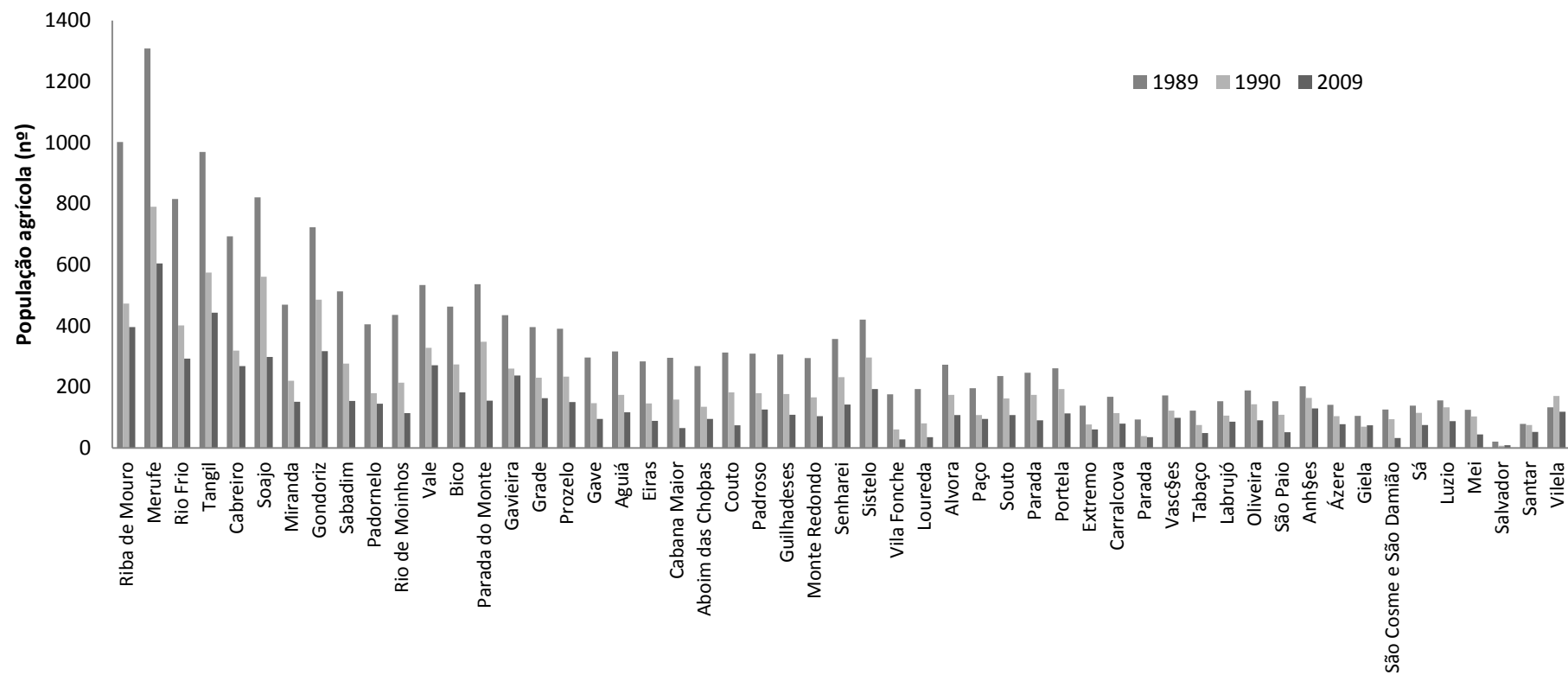
- Zhang, J., Niu, J., Buyantuev, A., Wu, J., 2014. A multilevel analysis of effects of land use policy on land-cover change and local land use decisions. *Journal of Arid Environments* 108, 19–28. doi:10.1016/j.jaridenv.2014.04.006
- Zêzere, J.L., Ferreira, A.B., Rodrigues, M.L., 1999. Landslides in the North of Lisbon Region (Portugal): Conditioning and triggering factors. *Physics and Chemistry of the Earth, Part A: Solid Earth and Geodesy* 24, 925–934. doi:10.1016/S1464-1895(99)00137-4

8 ANEXOS

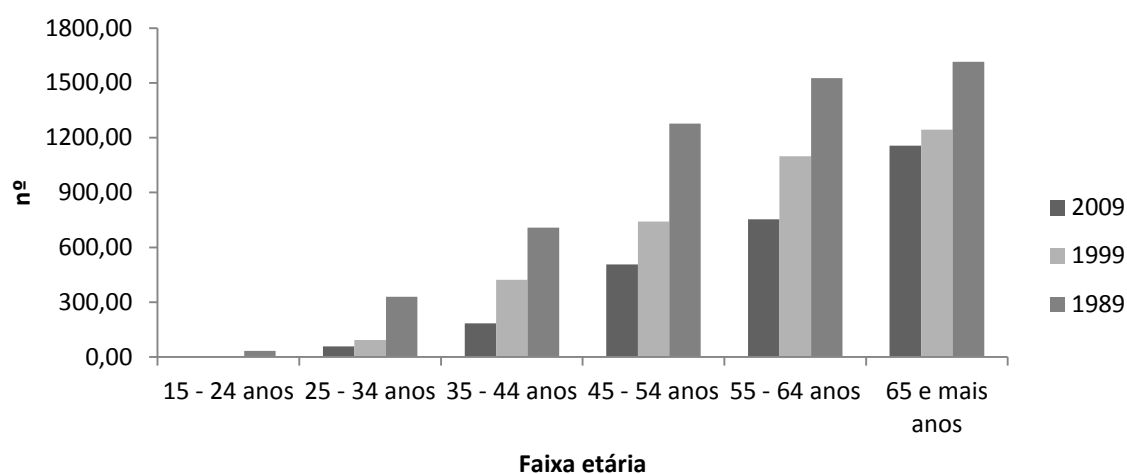
A I. Variação da População residente



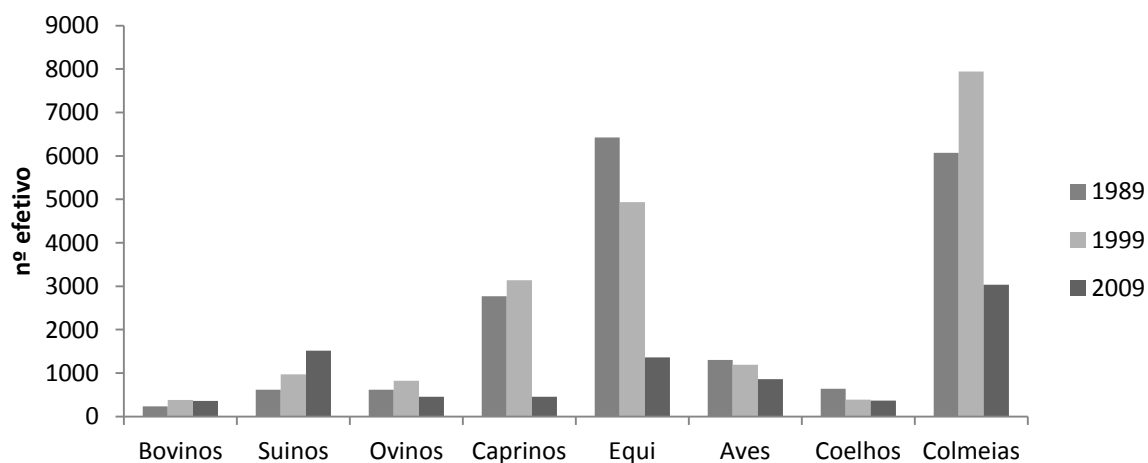
A II. Número da população agrícola no ano de 1989, 1990 e 2009 nas freguesias abrangidas pela bacia hidrográfica do rio vez



A III. Faixa etária dos produtores agrícolas da bacia hidrográfica do rio Vez (Fonte: INE).



A IV. Número do efetivo animal da bacia hidrográfica do rio vez



A V. Descrição da classificação utilizada na legenda das cartas de ocupação e uso do solo de 1990, 2000 e 2012.

Tipo de ocupação e uso do solo	Código nível 1	do	Código nível 2	do	Descrição
Áreas artificiais	U	SL	UU		Tecido urbano contínuo
			SL		Espaços verdes urbanos
	S	SW			Zonas industriais e comerciais
					Vias de comunicação
					Zonas portuárias
					Aeroportos
					Outras infraestruturas e equipamentos
	JJ	JJ			Pedreiras, saibreiras, minas a céu aberto
					Lixeiras, descargas industriais e depósitos de sucata
					Estaleiros de construção civil
					Outras áreas degradadas
Áreas agrícolas	C		CC		Culturas anuais
			CX		Sistemas culturais e parcelares complexos
			CI		Áreas principalmente agrícolas com espaços naturais importantes
			CV		Culturas anuais + Vinha
			CA		Culturas anuais + Pomar
			CO		Culturas anuais + Olival
	V		VV		Vinha
			VC		Vinha + Pomar l
			VA		VO1 Vinha + Olival
			VO		VC1 Vinha+ Cultura anua
	A		AA		Pomar
			AC		Pomar + Cultura anual
			AV		Pomar + Vinha
			AO		Pomar + Olival
	O		OO		Olival
			OC		Olival + Cultura anual
			OV		Olival + Vinha
			OA		Olival + Pomar
	D		DD		Outras arbustivas
	G		GG		Prados e lameiros
	C		C+_		Culturas anuais + espécie florestal
			__+C		Espécie florestal + culturas anuais
Áreas florestais	B		BB		Sobreiro
	Z		ZZ		Azinhreira
	T		TT		Castanheiro bravo
	N		NN		Castanheiro manso
	Q		QQ		Carvalho
	E		EE		Eucalipto
	F		FF		Outras folhosas
	P		PP		Pinheiro bravo
	M		MM		Pinheiro manso
	R		RR		Outras resinosas
Áreas naturais	I	semi-			Povoamento florestal misto (Folhosas + Resinosas)
			I_+		Vegetação arbustiva alta e floresta degradada ou de transição
			IO		Olival Abandonado
			II1		Pastagens naturais pobres
			II2		Vegetação arbustiva baixa- matos
	Q/F		QQ6/FF6		Vegetação esclerofítica- carrascal
			ZZ6/BB6		
	J		J+_		Áreas descobertas sem ou com pouca vegetação
			JY		Praia, dunas, areais e solos sem cobertura vegetal
			__+4		Zonas incendiadas recentemente
Corpos de água	H		HY		Zonas pantanosas interiores e paúls, zonas húmidas marítimas, sapais, salinas, zonas intertidais
			HH		Cursos de água, lagoas e albufeiras, águas marítimas, lagoas e cordões litorais, estuários, mar e oceano

A VI. Matriz de transição das categorias de ocupação e uso do solo entre 1990 e 2000.

2000	A		C		E		F		H		I		J		JJ		O		P		Q		R		S		U		V		Total %	Total ha
1990	%	ha	%	ha	%	ha	%	ha	%	ha	%	ha	%	ha	%	ha	%	ha	%	ha	%	ha	%	ha	%	ha	%	ha	%	ha		
A	0.02	4.07	0.00	1.03																									0.02	5.01	0.04	10.11
C	0.01	3.67	17.95	4716.87	0.01	2.16	0.14	37.38			0.44	115.47	0.03	7.01	0.01	2.32			0.17	43.41	0.57	150.47			0.01	1.45	0.17	44.99	0.10	25.62	19.60	5150.83
E					0.24	63.47					0.02	5.11							0.01	2.19											0.27	70.78
F			0.04	10.68			0.56	147.43			0.04	10.53							0.06	15.30	0.01	3.51									0.71	187.46
H									0.24	63.74																					0.24	63.74
I			0.08	19.96	0.04	11.37	0.13	33.96			25.49	6699.24	0.57	150.37	0.01	3.52			1.44	377.79	0.52	136.52	0.07	18.57	0.02	5.59	0.04	11.25	0.00	1.16	28.42	7469.28
J							0.02	4.40			3.09	811.29	22.19	5830.40	0.02	5.09			0.12	30.59	0.06	15.72	0.01	2.94			0.00	0.89	0.00	1.20	25.51	6702.51
JJ			0.02	5.76							0.04	9.62	0.00	0.63	0.01	3.14			0.01	2.42					0.02	4.30	0.02	5.37	0.00	0.58	0.12	31.82
O																	0.00	0.63													0.00	0.63
P			0.08	21.68	0.11	27.79	0.10	26.93			1.56	411.16	0.14	36.74	0.00	0.74			7.63	2005.28	0.33	87.00					0.02	6.54			9.99	2623.87
Q			0.39	102.71	0.03	6.88	0.17	43.68			0.71	185.54	0.01	3.34					0.28	73.54	7.77	2040.51			0.02	4.30	0.00	0.59			9.37	2461.08
R											0.04	10.78	0.07	19.70					0.00	0.82			0.46	119.90							0.58	151.20
S			0.00	0.65																					0.14	36.59	0.02	6.29			0.17	43.52
U			0.03	6.89							0.01	2.25												0.00	0.64	4.61	1210.95	0.00	0.79	4.65	1221.52	
V			0.02	4.13															0.01	3.51	0.00	0.71							0.31	81.12	0.34	89.48
Total	0.03	7.74	18.61	4890.36	0.43	111.68	1.12	293.77	0.24	63.74	31.44	8261.00	23.02	6048.18	0.06	14.82	0.00	0.63	9.72	2554.85	9.26	2434.44	0.54	141.41	0.20	52.87	4.90	1286.87	0.44	115.48	100.00	26277.84

A VII. Matriz de transição das categorias de ocupação e uso do solo entre 2000 e 2012.

2012	A		C		E		F		H		I		J		JJ		P		Q		R		S		U		V		Total %	Total Ha
2000	%	Ha	%	Ha	%	Ha	%	Ha	%	Ha	%	Ha	%	Ha	%	Ha	%	Ha	%	Ha	%	Ha	%	Ha	%	Ha	%	Ha		
A	0,00	0,88	0,01	3,92							0,01	2,94																	0,03	7,74
C	0,04	11,14	15,68	4121,00	0,02	5,85	0,22	57,84			0,89	233,37	0,01	2,79			0,08	22,06	1,34	350,93	0,00	0,74	0,04	10,28	0,19	48,84	0,10	25,51	18,61	4890,36
E			0,00	0,39	0,33	85,94	0,01	2,34			0,04	11,67					0,03	8,65	0,01	2,68									0,43	111,68
F			0,02	6,24	0,01	2,51	0,76	200,63			0,09	23,58	0,02	4,13			0,01	1,87	0,17	44,62	0,03	7,36			0,01	2,84			1,12	293,77
H									0,24	63,74																			0,24	63,74
I	0,01	1,67	0,22	58,89	0,27	70,86	0,20	53,21			24,35	6398,02	3,52	925,30	0,04	10,58	1,87	491,07	0,78	206,10	0,05	12,00	0,05	12,33	0,06	16,67	0,02	4,28	31,44	8261,00
J			0,00	1,17	0,02	5,99	0,01	2,24			2,04	536,80	20,76	5455,92	0,01	2,29	0,14	37,17	0,01	3,11	0,01	1,76	0,00	1,11	0,00	0,63			23,01	6048,18
JJ							0,00	0,51			0,03	6,91			0,01	3,86						0,01	1,34	0,01	2,20				0,06	14,82
O			0,00	0,63																									0,00	0,63
P			0,14	37,40	0,15	39,07	0,31	81,78			1,91	502,78	0,21	56,07	0,02	6,56	6,25	1641,36	0,60	158,95	0,02	4,66	0,06	15,99	0,03	8,07	0,01	2,16	9,72	2554,85
Q	0,00	0,57	0,30	80,03	0,08	21,49	0,33	87,38			0,75	197,76	0,05	14,16	0,00	0,58	0,67	177,11	6,96	1827,81	0,10	25,91			0,01	1,64			9,26	2434,44
R							0,01	3,55			0,16	42,56	0,05	12,53			0,06	16,12	0,01	3,27	0,24	63,38							0,54	141,41
S			0,00	1,07							0,00	0,64							0,00	0,64			0,17	44,91	0,02	5,62			0,20	52,87
U			0,10	27,23							0,01	2,59					0,00	0,00				0,00	1,23	4,78	1255,82			4,90	1286,87	
V	0,01	1,48	0,04	10,01							0,01	1,50					0,00	0,00	0,02	5,33		0,00	0,52			0,37	96,64	0,44	115,48	
Total Geral	0,06	15,76	16,54	4348,00	0,88	231,70	1,86	489,48	0,24	63,74	30,30	7961,12	24,62	6470,90	0,09	23,87	9,12	2395,41	9,91	2603,43	0,44	115,81	0,33	87,70	5,11	1342,33	0,49	128,59	100,00	26277,84

A VIII. Matriz de transição (%) das classes de ocupação e uso do solo entre 2000 e 2012

[illegible]

1990/2000	AA	CC	CF	CO	CP	CQ	CV	CX	EE	EF	EP	EQ	FC	FF	FP	FQ	FR	HH	IE	IF	II	IP	IQ	IR	JE	JF	JI	JJ	JP	JQ	JY	OO	PE	PF	PP	PQ	PR	QC	QE	QF	QP	QQ	QR	QT	RF	RP	RQ	RR	SL	SW	UU	VV	Total
QC			0.01			0.29	0.01	0.00						0.01						0.01	0.00	0.01	0.05							0.00		0.00	0.00	0.03	0.01		0.19		0.02	0.05	0.09										0.79		
QE												0.02									0.01																	0.09													0.12		
QF						0.00	0.00							0.01		0.08					0.01	0.02								0.00			0.02	0.00					0.99						0.01					1.16			
QO							0.00																																	0.01										0.01			
QP						0.02	0.00		0.00					0.00	0.01						0.03	0.17	0.08				0.01							0.07	0.06				0.05	2.58	0.02				0.00	0.00				3.12			
QQ			0.01			0.02								0.04	0.01	0.00	0.01		0.01	0.00		0.00	0.29									0.01	0.02	0.02	0.03		0.01	0.02	0.02	0.11	3.19										3.82		
QR																																									0.23										0.23		
QT																				0.00																					0.10									0.11			
RF																				0.01		0.00		0.01						0.01			0.00									0.20									0.24		
RP																																											0.01		0.00						0.01		
RQ																																												0.08							0.08		
RR																					0.01	0.01								0.06			0.00												0.17						0.25		
SL																																														0.03		0.00				0.03	
SW							0.00																																							0.04	0.07	0.02				0.14	
UU			0.01			0.01	0.01	0.00													0.00	0.00	0.00																							0.00	4.61	0.00			4.65		
VV			0.00				0.01	0.00																										0.01																0.31			0.34
Total	0.03	4.04	1.51	0.00	0.08	3.82	7.47	1.68	0.24	0.00	0.15	0.04	0.02	0.51	0.33	0.11	0.15	0.24	0.29	1.69	15.86	7.18	6.28	0.12	0.03	0.03	0.74	0.06	1.99	0.36	19.87	0.00	0.72	1.11	5.31	2.35	0.24	0.34	0.13	1.37	3.21	3.70	0.24	0.26	0.21	0.01	0.08	0.24	0.10	0.10	4.90	0.44	100.00

A IX. Matriz de transição (%) das classes de ocupação e uso do solo entre 2000 e 2012

[illegible]

112