U.PORTO
FLUP FACULDADE DE LETRAS
UNIVERSIDADE DO PORTO

Mestrado em Sistemas de Informação Geográfica e Ordenamento do Território

As knickzones da serra do Alvão: localização, geomorfologia e impacto no geoturismo e geopercursos

JORGE COSTA

2020

Jorge Costa

As knickzones da serra do Alvão: localização, geomorfologia e impacto no geoturismo e geopercursos

Dissertação realizada no âmbito do Mestrado em Sistemas de Informação Geográfica e Ordenamento do Território, orientada pelo Professor Doutor Alberto Gomes e coorientada pelo Professor Doutor Nelson Fernandes

Faculdade de Letras da Universidade do Porto

15 de outubro de 2020

As knickzones da serra do Alvão: localização, geomorfologia e impacto no geoturismo e geopercursos

Dissertação realizada no âmbito do Mestrado em Sistemas de Informação Geográfica e Ordenamento do Território, orientada pelo Professor Doutor Alberto Gomes e coorientada pelo Professor Doutor Nelson Fernandes

Membros do Júri

Professor Doutor ….
Faculdade …. - Universidade ...

Professor Doutor ….
Faculdade …. - Universidade …

Professor Doutor ….
Faculdade …. - Universidade ...

Classificação obtida: …. valores

Aos meus pais e irmão

Índice

Índice 7
Declaração de honra 8
Agradecimentos 9
Resumo 10
Abstract 11
Índice de Figuras 12
Lista de abreviaturas e siglas 14
1. Introdução 15
1.1. Preâmbulo 15
1.2. A serra do Alvão 17
1.3. Objetivos e estrutura da dissertação 24
2. A geomorfologia e o Geoturismo: principais conceitos 28
2.1. Alguns conceitos geomorfológicos 28
2.2. Geoturismo: Principais conceitos 36
3. Estudo geomorfológico da Serra do Alvão 44
3.1. Análise geral da Serra do Alvão 44
3.2. Análise das bacias hidrográficas na área de estudo 48
3.3. Análise dos cursos de água 56
3.3.1. Índice de Declividade Normalizado 56
3.3.2. Índice de declividade do Canal (χ) 61
3.3.3. Perfis Longitudinais 64
3.4. Knickzones na serra do Alvão 66
3.5. Capturas 67
3.6. Paisagens Relíquia 72
4. Análise dos percursos dos utilizadores do Wikiloc 74
4.1. Recolha e organização dos dados 74
4.2. Tratamento dos dados 76
4.3. Resultados 78
4.3.1. Análise espacial dos locais de início e fim de percurso 78
4.3.2. Análise espacial dos percursos realizados pelos utilizadores do Wikiloc 81
4.3.3. Análise espacial das fotografias captadas pelos utilizadores do Wikiloc 89
5. Conclusão 91
5.1. O impacto das knickzones no geoturismo 91
5.2. Knickzones ineficazmente aproveitadas 92
5.3. Vantagens dos dados recolhidos para o conhecimento e ordenamento do território 94
5.4. Propostas para a área de estudo 95
6. Bibliografia 98

Declaração de honra

Declaro que a presente dissertação é de minha autoria e não foi utilizado previamente noutro curso ou unidade curricular, desta ou de outra instituição. As referências a outros autores (afirmações, ideias, pensamentos) respeitam escrupulosamente as regras da atribuição, e encontram-se devidamente indicadas no texto e nas referências bibliográficas, de acordo com as normas de referenciação. Tenho consciência de que a prática de plágio e auto-plágio constitui um ilícito académico.

Santo Tirso, 15 de outubro de 2020

Jorge Costa

Agradecimentos

Agradeço, em primeiro lugar, aos meus pais e irmão sempre me apoiaram e garantiram todas as condições para prosseguir os meus estudos, e me ensinaram a nunca desistir de atingir os meus objetivos.

À minha namorada, Maria Duarte, que já há largos anos me apoia e ajuda em todas as decisões, me dá força para me continuar a esforçar para fazer mais e melhor. Ao longo deste ano, mais uma vez, esteve sempre presente, apoiando-me em todos os momentos.

Agradeço ao professor Dr. Alberto Gomes que orientou a minha dissertação. Pela forma como me acompanhou ao longo deste ano, pela disponibilidade e competência, pelo trabalho imensurável no meu desenvolvimento enquanto estudante, pela exigência em todos os pormenores, pela amizade e pelo companheirismo em todas as saídas de campo.

Ao professor Dr. Nelson Fernandes, pela preciosa ajuda na construção da minha dissertação, através das suas sugestões e conhecimento.

Resumo

As knickzones e os knickpoints são importantes feições geomorfológicas com capacidade para atrair turistas a uma determinada área. A sua beleza e imponência indiscutível, por si só, atrai muitos visitantes. Para além do impacto visual, as atividades físicas que proporcionam, o passado geológico e geomorfológico que representam diversificam o público que as visita, valorizando o seu potencial geoturístico. Em Portugal, a Serra do Alvão (SA) contém algumas das knickzones mais impressionantes do país, como as quedas de água do rio Poio e as Fisgas de Ermelo. Ao longo deste estudo procuramos localizar as knickzones da SA e entender o seu impacto nos percursos pedestres realizados pelos utilizadores da plataforma Wikiloc.

O foco inicial deste estudo passa pela análise geomorfológica da serra através da análise do seu relevo e rede de drenagem de forma a localizar as knickzones. Com o auxílio dos softwares MatLab e ArcGis foi possível obter os índices de assimetria das bacias, o seu gradiente, ksn médio e os valores de ksn e χ para a rede de drenagem. Estes valores complementaram uma análise geral da hipsometria e do relevo. Foram realizadas também 6 saídas de campo a esta área de forma a validar a localização das knickzones identificadas.

Posteriormente analisou-se a influência destas caraterísticas geomorfológicas nos percursos pedestres, realizados pelos utilizadores do Wikiloc, na área envolvente do Parque Natural do Alvão. Através da informação dos percursos, pontos de partida/chegada e fotografias tiradas foi possível compreender a importância das Figas de Ermelo nesta área enquanto principal foco de atração turística. Galegos da Serra e Lamas de Olo, também se destacam, e no caso de Galegos da Serra as quedas de água são mais uma vez a principal atração dos visitantes.

Alguns locais como no Pioledo, Pardelhas e Fervença foram identificadas knickzones importantes, em particular as knickzones do rio Cabril junto ao Pioledo e Bilhó, que não conseguem atrair tantos visitantes como, por exemplo, Galegos da Serra. A falta de percursos pedestres oficiais e a proximidade geográfica às Fisgas de Ermelo são os principais fatores explicativos destas diferenças.

Palavras-chave: Knickzone/Knickpoint, Geoturismo, Alvão, Captura fluvial, Paisagem Relíquia.

Abstract

Knickzones and knickpoints are important geomorphological features with capacity to attract tourists to a certain area. Their beauty and undeniable magnificence alone attract many visitors. In addition to their visual impact, the physical activities they provide and the geological and geomorphological past they represent diversify the public that visits them, enhancing their geotouristic value. In Portugal, Serra do Alvão (SA) contains some of the most impressive knickzones of the country and Europe, such as the waterfalls of the river Poio and the Fisgas de Ermelo. Throughout this study we sought to locate the SA knickzones and understand their impact on the walking paths taken by users of the Wikiloc platform.

The initial focus of this study is the geomorphological analysis of the mountain by analysing its relief and drainage network to locate the knickzones. With the help of MATLAB and ArcGIS software it was possible to obtain the asymmetry index of the basins, their gradient, average ksn and χ values for the drainage network. These values complemented a general analysis of hypsometry and relief. There were also 6 field trips to this area to validate the location of the identified knickzones.

Subsequently, it was analysed the influence of these geomorphological characteristics on the walking paths, carried out by Wikiloc users, in the area surrounding the Alvão Natural Park. Through the information of the walks, starting/arrival points and photographs taken, it was possible to understand the importance of Figas de Ermelo waterfalls in this area as the focus of tourist attraction. Galegos da Serra and Lamas de Olo also stand out, and in the case of Galegos da Serra waterfalls are once again the main attraction of visitors.

Some places such as Pioledo, Pardelhas and Fervença have been identified to have important knickzones, in particular the knickzones of the Cabril river next to Pioledo and Bilhó, which do not attract as many visitors as, for example, Galegos da Serra. The lack of official footpaths and the geographical proximity to the Fisgas de Ermelo are the main factors explaining these differences.

Keywords: Knickzone/Knickpoint, Geotourism, Alvão, River Piracy, Relict Landscapes.

Índice de Figuras

Figura 1 – Knickpoints presentes na serra do Alvão. (A) Cascatas de Bilhó. (B) Cascatas de Galegos da Serra. (C) Fisgas de Ermelo. 15
Figura 2 - Hipsometria da Serra do Alvão e áreas envolventes. 18
Figura 3 – Exemplo de uma falha do tipo strike-slip. Adaptado de (Storti, Holdsworth, Salvini, & Geological Society of London., 2003). 19
Figura 4 – Mapa Geológico da Serra do Alvão 20
Figura 5 – Classificação e Uso do Solo em 2018 na Serra do Alvão. 21
Figura 6 – Precipitação anual média na Serra do Alvão. 23
Figura 7 – Estrutura da dissertação. 25
Figura 8 – Perfil longitudinal de um rio e conceitos associados. 29
Figura 9 – Exemplo de um knickpoint permanente: Frecha da Misarela, Serra da Freita, Arouca. Foto tirada por João P74 (https://flic.kr/p/s5DVB7). 31
Figura 10 – Captura Fluvial por erosão remontante. a) Revelo anterior à captura fluvial. b) Relevo após a captura fluvial e as mudanças na direção de drenagem. Adaptado de (Bierman & Montgomery, 2014). 33
Figura 11 – Como funciona o filtro fill sinks. 34
Figura 12 – Diagrama topológico dos 3G's que definem o Geoturismo e a sua importância (Hose, 2012). 38
Figura 13 – Revisão do Modelo Geo-histórico (Hose, 2012). 41
Figura 14 – Mapa hipsométrico da Serra do Alvão e áreas circundantes. 44
Figura 15 – Mapa de declives da Serra do Alvão 45
Figura 16 – Swath Profiles da Serra do Alvão. A) Campeã – Bragado. B) Celorico de Basto – Vila Real. C) Mondim de Basto – Vilarinho da Samardã. D) Cerva – Vila Chã. E) Cerva – Vila Pouca de Aguiar. 47
Figura 17 – Assimetria das bacias 52
Figura 18 – K_{sn} médio nas bacias da serra do Alvão. 53
Figura 19 – Gradiente médio nas bacias da serra do Alvão. 54
Figura 20 – Integral hipsométrica nas bacias da serra do Alvão. 55
Figura 21 – K_{sn}: índice de declividade normalizado 58
Figura 22 – Fotografias de algumas knickzones verificadas no Campo: A/B/E) Cascatas de Galegos da Serra; C) Cascatas de Bilhó; D) Fisgas de Ermelo; F) Quedas de água na ribeira do Sião. 59
Figura 23 – Imagens de knickzones observadas através do Google Earth: A) Quedas do rio Poio; B) Quedas do rio Avelames. 60
Figura 24 – O x e a sua relação com a migração dos divisores. 61
Figura 25 - Situação do chi escarpa Norte em Gouvães da Serra (A) e entre o a bacia do rio Olo e a bacia da Campeã (B). 62
Figura 26 – Mapa do x para a serra do Alvão. 63
Figura 27 – Perfis longitudinais dos rios Olo (C), Cabril (Tâmega) (D), Poio (E) e da Ribeira do Arnal (F); A) perfis normalizados. B) Curva hipsométrica das bacias correspondentes; C a F - perfis individuais e respetiva litologia do leito. 64
Figura 28 – Knickzones encontradas na Serra do Alvão. 66
Figura 29 – Captura fluvial da ribeira do Cabouco (afluente do rio Torno). 68
Figura 30 – Captura Fluvial entre afluentes do rio Poio, em Alvadia. A) Fotografia do Vale da ribeira capturada. B) Fotografia da knickzone após a captura, ponto de vista para montante. C) Fotografia da knickzone após a captura, ponto de vista para jusante. 69

Figura 31 - Captura fluvial do Rio Cabril, Pioledo. 70
Figura 32 - Captura fluvial entre a ribeira do Arnal e a bacia do rio Olo. 71
Figura 33 – Imagens da Captura de Chão Rosso. A) Fotografia de campo do vale da ribeira que está atualmente a ser capturada. B) Imagem do Google Earth da captura. 71
Figura 34 – Declives nas paisagens relíquia 1 e 3. 72
Figura 35 – Declives nas paisagens relíquia 1 e 2. 73
Figura 36 - Diagrama do processo de recolha de dados do Wikiloc. 76
Figura 37 – Esquema conceptual do script para preparar e organizar os dados Wikiloc. 77
Figura 38 – Exemplos de locais onde é muito comum os visitantes iniciar um trilho. A) Parque de estacionamento do Café e restaurante Sabores do Alvão, Ermelo. B) Capelinha do Fojo, Ermelo. C) Descampado junto à albufeira da Barragem da Cimeira. D) Locais de estacionamento disponíveis junto ao restaurante. E) Proibição de estacionamento no parque da igreja. 80
Figura 39 – Inícios e fins de percursos 81
Figura 40 – Frequência de utilização dos percursos pedestres no parque do Alvão. 82
Figura 41 - Percursos oficiais no Parque Natural do Alvão. 83
Figura 42 – Fotografias das Cascatas de Bilhó. A) Megablocos caídos na base da knickzone. B) Pequenas lagoas ao longo da cascata. 84
Figura 43 – Número de trilhos que cruzam as principais localidades presentes na área de estudo. 84
Figura 44 – Exemplo de um desvio para aceder a um miradouro. A) Acesso ao miradouro. B) Imagem do Google Earth do Miradouro. C) Vista para as Figas de Ermelo. D) Vista para uma falha. 85
Figura 45 – Mapa representativo do efeito da Sazonalidade na frequência de utilização dos trilhos pedestres no PNA. 86
Figura 46 – Impacto da Sazonalidade no número de trilhos que passam pelas localidades persentes na área de estudo. 87
Figura 47 – Proporção entre o número de trilhos realizados por estação numa localidade e o total de trilhos nessa localidade 88
Figura 48 – Locais das fotografias tiradas pelos utilizadores do Wikiloc no Parque Natural do Alvão. 89
Figura 49 – Densidade de fotografias tiradas pelos utilizadores do Wikiloc no Parque Natural do Alvão. 90
Figura 50 – Vista Para as Cascatas de Galegos da Serra. A) Ponto de vista de quem segue o PR Agarez - Arna. B) Ponto de vista das cascatas de uma posiçãoo frontal. 93
Figura 51 - Proposta para a localização de um miradouro em Sirarelhos. 95
Figura 52 – Proposta de um percurso circular entre Pioledo, o topo da serra e o Bobal e algumas das paisagens que quem o percorre pode comtemplar. 96

Lista de abreviaturas e siglas

GPS – Global Position System

GPX – GPS Exchange Format

KML – Keyhole Markup Language

PNA – Parque Natural do Alvão

KPS – Knickpoint(s)

KZS – Knickzone(s)

VRP – Falha Verín-Régua-Penacova

TAK – *Topographic Analysis Kit*

PR – *Percurso Regional*

PRel – *Paisagem Relíquia*

MDT – Modelo Digital de Terreno

SA – *Serra do Alvão*

1. Introdução

1.1. Preâmbulo

Os knickpoints e knickzones são feições geomorfológicas com elevado interesse científico, paisagístico e turístico. Estas feições geomorfológicas, popularmente conhecidos como quedas de água, cascatas ou rápidos, constituem um foco de atração turística devido às paisagens deslumbrantes que originam. Em muitos casos, nestes locais, é comum existiram pequenas lagoas que, quando as condições do relevo permitem o acesso fácil, são aproveitadas pelos visitantes como piscinas naturais, promovendo uma interação harmoniosa entre o Homem e natureza.

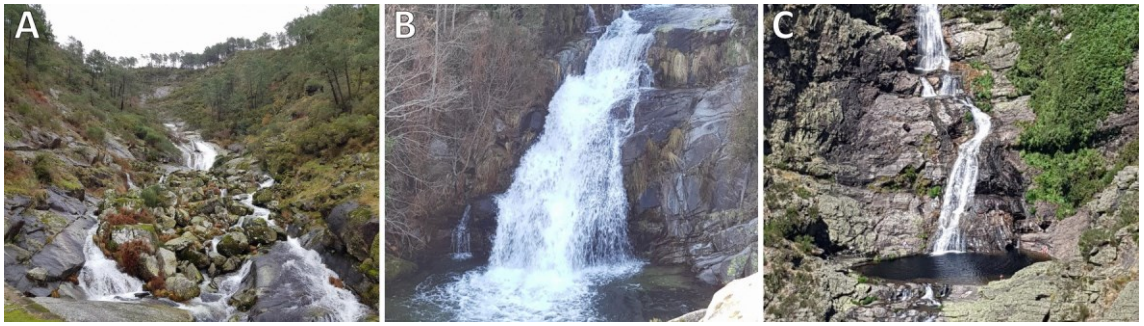

Figura 1 – Knickpoints presentes na serra do Alvão. (A) Cascatas de Bilhó. (B) Cascatas de Galegos da Serra. (C) Fisgas de Ermelo.

A Serra do Alvão possui algumas das quedas mais impressionantes de Portugal, sendo as Fisgas do Ermelo (figura 1), as mais conhecidas e a sua principal atração turística. Estas quedas de água são um dos alvos de inúmeras caminhadas, passeios e fotografias dos visitantes a esta serra. No entanto, as Fisgas do Ermelo não são o único elemento geomorfológico que potencializa ou tem a capacidade de potencializar o geoturismo nesta serra. Ao longo das suas escarpas vertiginosas é possível encontrar vários knickpoints e knickzones (figura 1) com potencial de serem mais uma atração local da serra. Outras feições geomorfológicas, como as capturas fluviais, os vales secos ou os leitos fluviais ocupados por megablocos, mediante a devida valorização e sinalização podem também constituir um atrativo para aqueles que se questionam mais acerca das heranças e dinâmicas geomorfológicas e geológicas dos locais que visitam. Estas caraterísticas conferem um elevado valor científico ao território o que, em conjunto com

a beleza paisagística do local, promove a visita de geoturistas a locais remotos, muitas vezes longe de estradas, estimulando o recurso a percursos pedestres que podem constituir um elo entre os visitantes, o ambiente e o território.

As quedas de água constituem uma das caraterísticas geomorfológicas e cénicas com elevada capacidade para atrair visitantes a um determinado local. A sua formação pode dever-se a fatores individuais ou a um conjunto de fatores, o que induz um enorme fascínio na comunidade científica que as estuda. Desta forma, as quedas de água e os rápidos podem ser vistas como uma referência para os praticantes de geoturismo, com a contemplação visual das quedas, o seu uso para banhos quando a segurança dos visitantes está garantida (ou não), pela possibilidade de praticar desportos radicais como o rafting e o canyoning ou até pela capacidade de educar os seus visitantes, dando-lhes a conhecer pormenores científicos acerca da sua formação, caraterísticas e a necessidade da sua preservação.

Atualmente, através de modelos digitais de terreno é possível extrair a rede de drenagem de uma determinada área e identificar de forma automática os knickpoints e knickzones existentes numa determinada área. É também possível, através de aplicações móveis como o Wikiloc (https://www.wikiloc.com/), extrair um grande volume de dados relativos aos percursos realizados numa determinada área pelos utilizadores dessa aplicação. Estes dados permitem analisar algumas tendências dos visitantes, tais como, os locais em que começam ou terminam os trilhos, ou quais os percursos que são mais frequentados e a relação entre os percursos praticados e a localização dos knickpoints/knickzones.

O acesso a estes dados é, atualmente, muito valioso para o conhecimento e ordenamento de locais como os parques naturais, uma vez que permitem identificar ativos naturais e possibilitar o aproveitamento social, ambiental, recreativo, desportivo e económico de áreas que, muitas vezes, estão em situações de perda de população e envelhecimento acentuado devido, entre outros fatores, à falta de oportunidades profissionais. Permite também uma maior gestão e proteção destes ativos ao identificar

os locais em que há maiores ajuntamentos de visitantes e, consequentemente, uma maior necessidade de pontos para depositar lixo, pontos para os visitantes obter informações acerca dos trilhos disponíveis e regras, precauções e cuidados que os visitantes devem cumprir. Estas potencialidades tornam estes dados essenciais para as entidades que gerem locais como o Parque Natural do Alvão (ou Câmaras Municipais, Juntas de Freguesia) promoverem uma experiência mais rica aos visitantes e, ao mesmo tempo, contribuir para a proteção da biodiversidade e geoconservação destes locais.

1.2. A serra do Alvão

A serra do Alvão, localizada no norte de Portugal, foi a área de estudo escolhida para analisar a influência dos knickpoints e knickzones, enquanto caraterística geomorfológica capaz de promover o geoturismo e o uso dos geopercursos que estejam associados a estas feições geomorfológicas. Esta serra faz parte das Montanhas Ocidentais (Brum Ferreira, 1978) e constitui uma das serras que separa as regiões do Minho e de Trás-os-Montes. Está limitada a ocidente pelo rio Tâmega e a Norte pelo rio Avelames. O seu limite oriental é constituído pelas bacias de Pedras Salgadas - Telões e pelo rio Corgo.

Por fim, o seu limite com a serra do Marão é mais complexo. António de Sousa Pedrosa (1993), definiu na sua tese de doutoramento que o limite Norte da serra do Marão se iniciava pelo troço inferior do rio Cabril, fazendo coincidir o limite entre as duas serras com o limite geológico dos xistos e quartzitos com os granitos, prolongando-se para Nordeste por uma falha de direção NW-SE. No entanto, no seguimento desta dissertação será considerado como limite Sul da SA a bacia de Campeã e o monte do Velão (figura 2). Esta situação foi ponderada de forma a não separar as duas serras pela área em que se localizam as maiores altitudes do setor central deste bloco estrutural e também, para conseguirmos incluir neste estudo o Parque Natural do Alvão e o seu principal atrativo geomorfológico, as Fisgas de Ermelo.

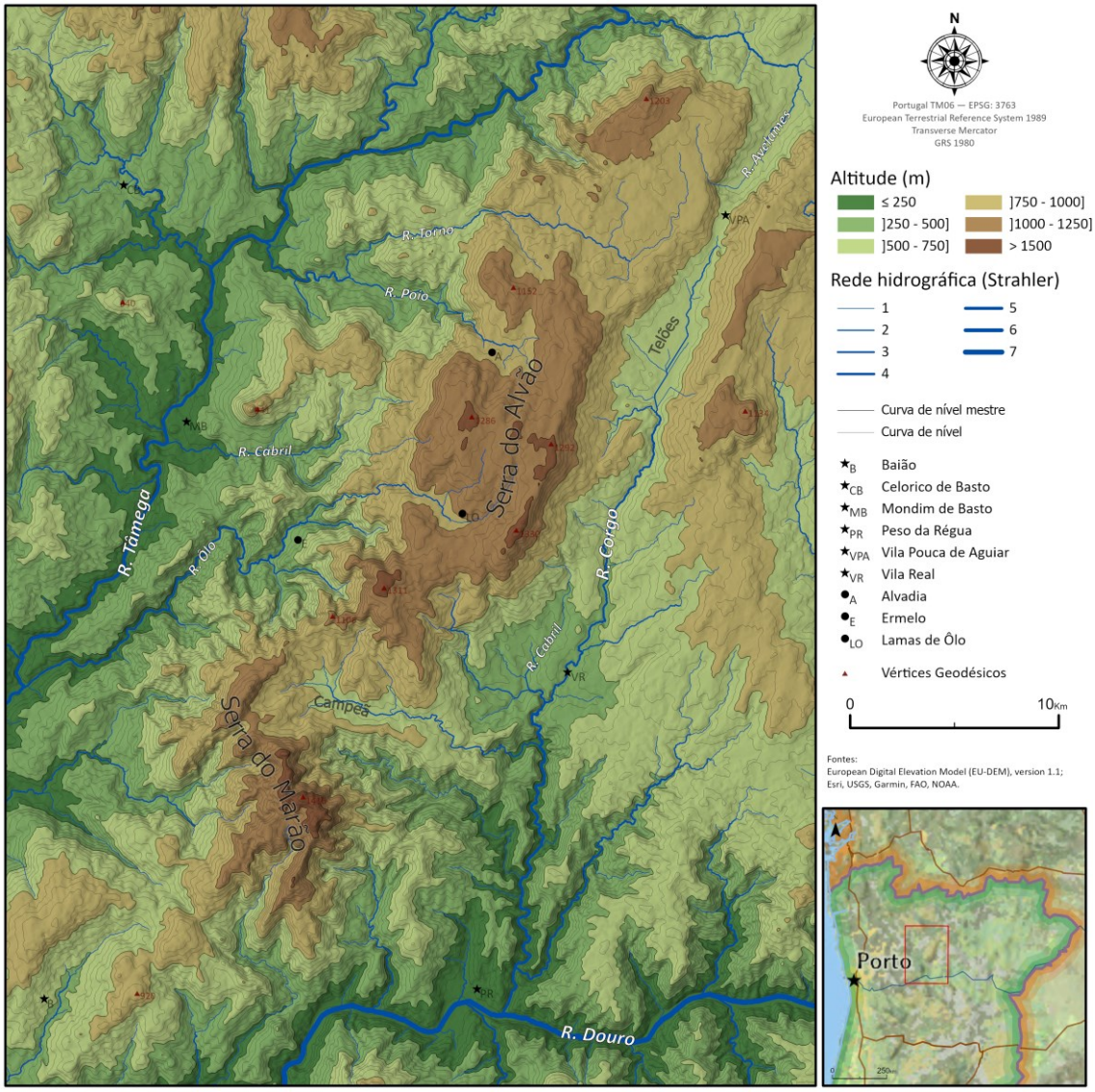

Figura 2 - Hipsometria da Serra do Alvão e áreas envolventes.

As Montanhas Ocidentais, das quais o Alvão faz parte, funcionam como barreira de condensação (Pedrosa, 1993), entre a região do Minho e de Trás-os-Montes. Como é possível observar na figura 2, a serra apresenta uma grande extensão com largas áreas do seu topo situadas a altitudes superiores aos 1000 metros. O ponto mais alto corresponde ao vértice geodésico das Caravelas que atinge os 1330 metros, e que se encontra na borda Este da serra, mas é possível encontrar vários pontos com altitudes superiores a 1200 metros.

O Alvão tem como característica principal o seu topo aplanado e os baixos declives. Por contraste, as suas escarpas vertiginosas quando percorridas pelos cursos de água existentes

na serra dão origem a imponentes quedas de água como as impressionantes Fisgas de Ermelo e as quedas de água do rio Poio. As últimas, localizam-se na vertente oeste, no tributário do rio Tâmega para onde corre a maioria os rios que se originam e drenam a serra. A rede hidrográfica presente na SA corresponde a duas grandes bacias, a bacia do Tâmega e a Bacia do Corgo, sendo que ambas fazem parte da bacia do rio Douro. Os principais cursos de água presentes no topo da serra, rio Olo, Cabril (Tâmega), Poio e Torno vertem para o rio Tâmega. Do rio Corgo fazem parte o rio Cabril (Corgo) e o rio Sordo. Para além destes existem inúmeras ribeiras nas vertentes Este e Norte que fluem, respetivamente, para o rio Corgo e para o rio Avelames.

A nível geológico (figura 4), esta serra encontra-se dividida em dois setores, a norte predominam os granitos que, pela sua resistência, possibilitam que o topo da serra seja mais aplanado, dificultando que as vagas erosivas escavam de forma rápida e fácil as escarpas da serra. A Sul, as rochas metamórficas dominam a paisagem, onde os xistos, quartzitos e corneanas são os principais tipos de rocha metamórfica presentes ao longo da serra, mas também é possível encontrar metagrauvaques e metacalcários (figura 4). Existem também alguns depósitos aluvionares com expressão significativa no topo da serra, um na bacia do rio Poio, próximo de Alvadia, e outro na bacia do rio Olo, junto à aldeia de Lamas de Olo. A diferença entre a resistência dos diversos tipos de rocha molda o percurso dos rios e é, em alguns casos, o fator responsável pelas quedas de água.

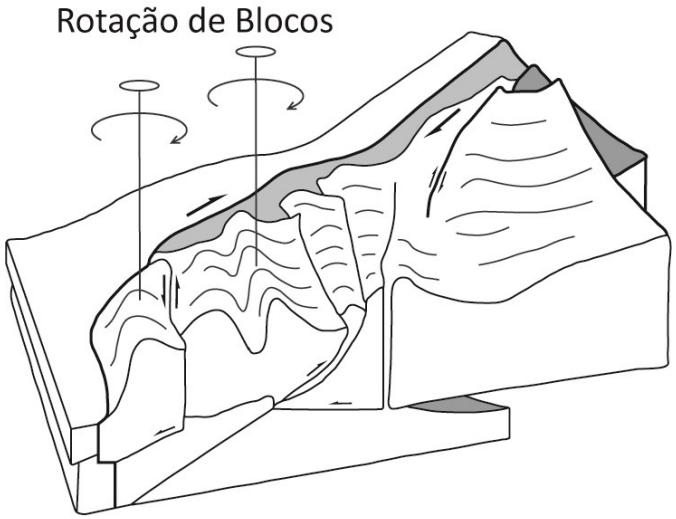

Figura 3 – Exemplo de uma falha do tipo strike-slip. Adaptado de (Storti, Holdsworth, Salvini, & Geological Society of London., 2003).

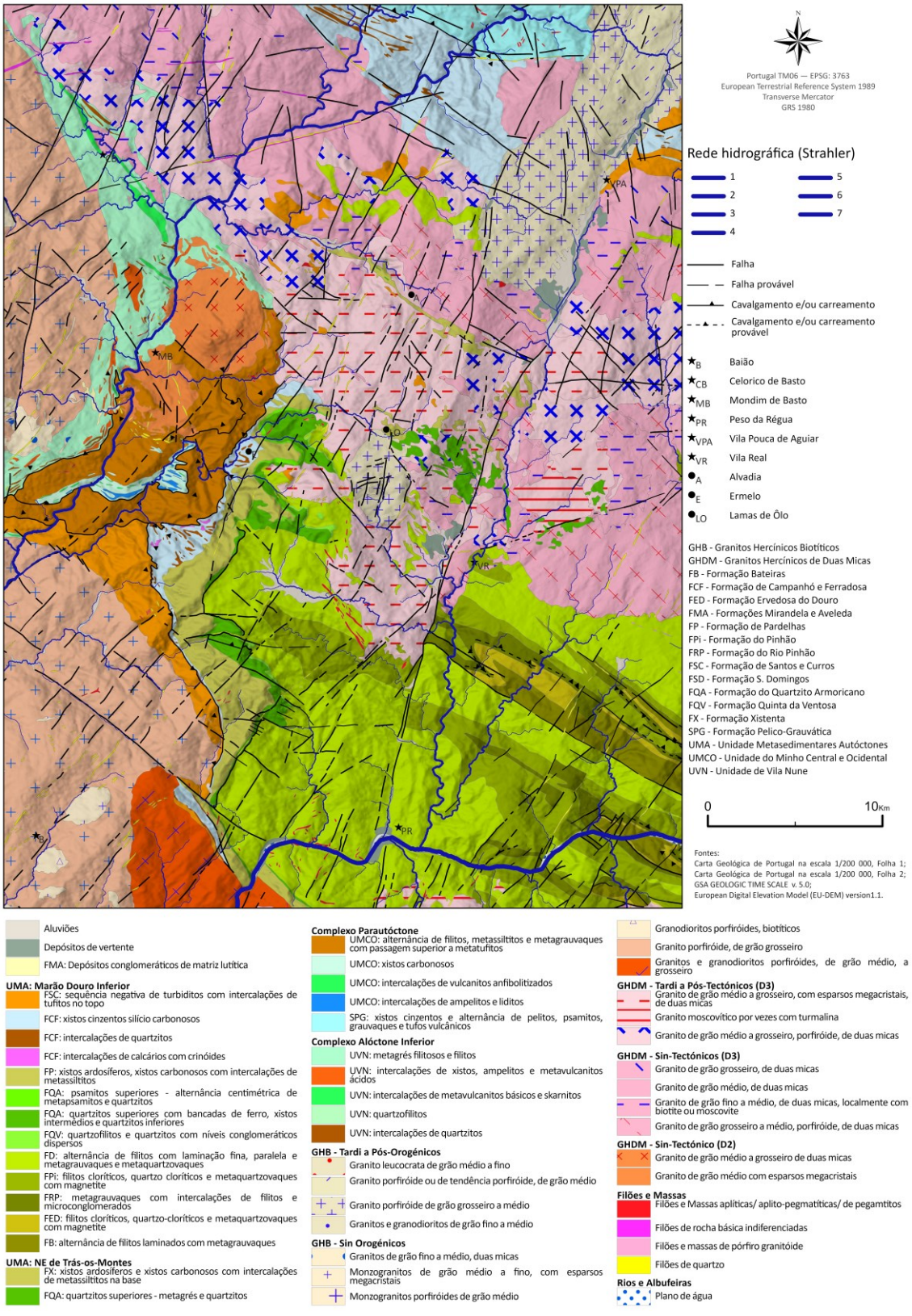

Figura 4 – Mapa Geológico da Serra do Alvão

A nível estrutural (figura 4), a serra encontra-se ao longo da falha Verín-Régua-Penacova. Com uma extensão de 400 quilómetros é uma das mais imponentes falhas de Portugal Continental, mantendo uma orientação predominante é NNE-SSW (Batista, 1998). De acordo com o mesmo autor, esta falha é do tipo *strike-slip* (figura 3), sendo que a serra do Alvão corresponde a uma série de blocos soerguidos por compressão do estilo *push-up*. A bacia de Telões que limita o Alvão corresponde a uma bacia de desligamento (B. Martins & Pereira, 2018). Ao longo da extensão da serra existe também uma série de falhas transversais à VRP com orientação NW-SE e WNW-ESSE.

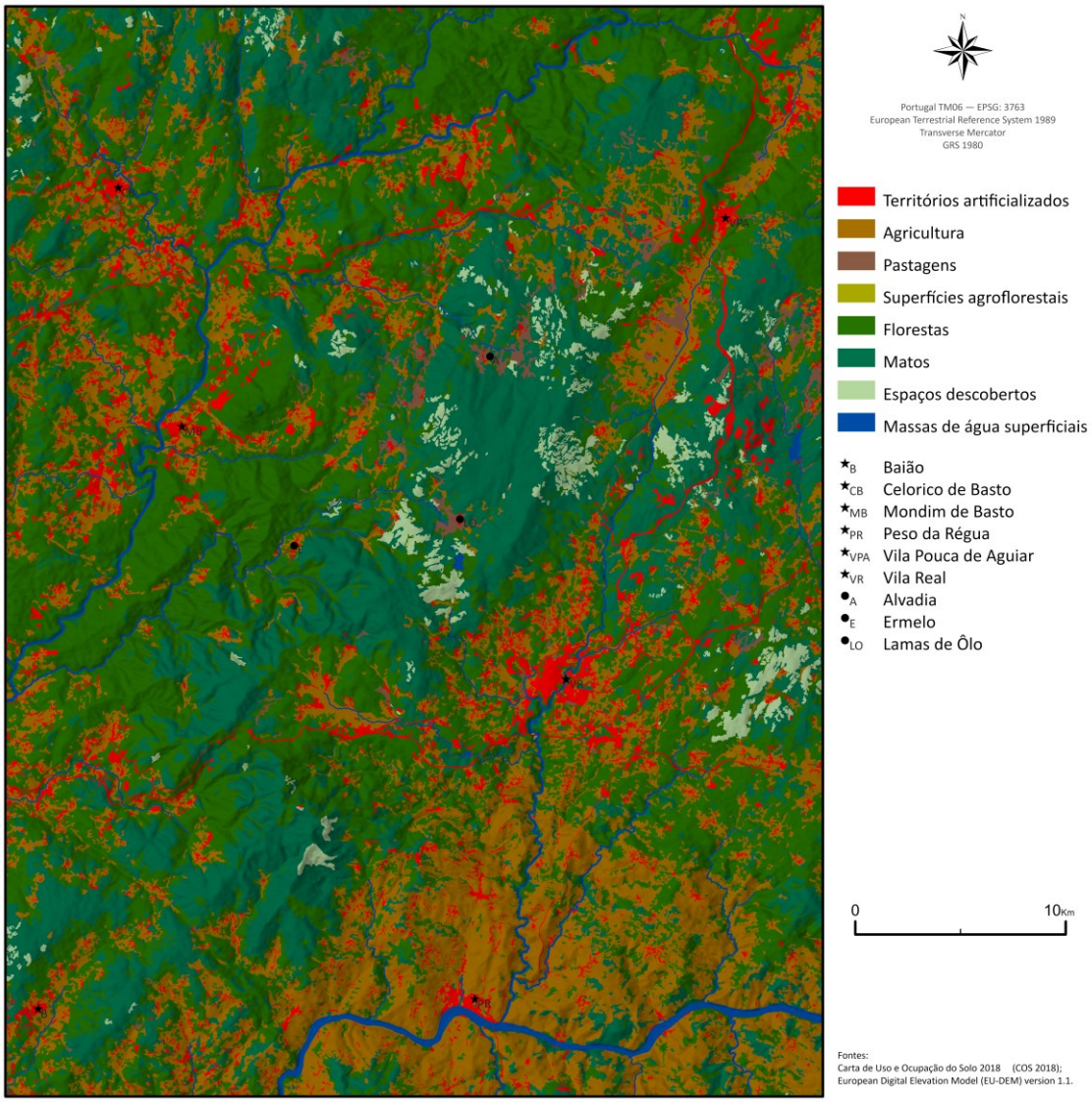

Figura 5 – Classificação e Uso do Solo em 2018 na Serra do Alvão.

De acordo com a figura 5, o topo da serra é coberto na sua maioria por espaços de matos e solo descoberto, Lamas de Olo e Alvadia correspondem a áreas de agricultura heterogénea, caracterizada pelos lameiros de altitude (Pereira & Martins, 2018). A floresta não é a classe predominante no topo, mas apresenta pequenos focos que, na sua maioria, são ocupadas o pinheiros, bétulas e ciprestes. As áreas florestais ganham importância conforme descemos a serra, o mesmo acontece com a agricultura, principalmente nas imediações das principais localidades ao longo da escarpa da serra, como por exemplo em Ermelo, Bilhó, Limões, Galegos da Serra e Agarez.

A Norte, em Gouvães da Serra, o uso do solo é diferente da restante serra. Aqui, as principais classes de uso do solo são a agricultura e a floresta, enquanto os matos e espaços descobertos são escassos.

Os territórios artificializados correspondem às pequenas localidades espalhadas ao longo da serra. Estas, correspondem a aldeias e lugares de pequena dimensão. Mais uma vez, a Norte a situação é diferente, uma vez que a serra é cortada pela autoestrada A7 que liga Guimarães a Vila Pouca de aguiar. As bacias de Telões e Campeã, que limitam a serra, destacam-se pela predominância da agricultura.

Como é possível observar na figura 6, em toda a serra registam-se valores elevados de precipitação. Nas cotas mais elevadas, registam-se valores médios de precipitação anual entre os 2000 e os 2600 milímetros. Esta área com precipitação mais elevada corresponde à parte Oeste das bacias dos rios Poio e Olo. A restante área serrana regista valores entre os 1400 e os 2000 milímetros, com a exceção de uma pequena área no Norte da serra e da região de Ermelo, após as Fisgas de Ermelo. Estas áreas apresentam os valores mais baixos entre os 800 e os 1400 milímetros.

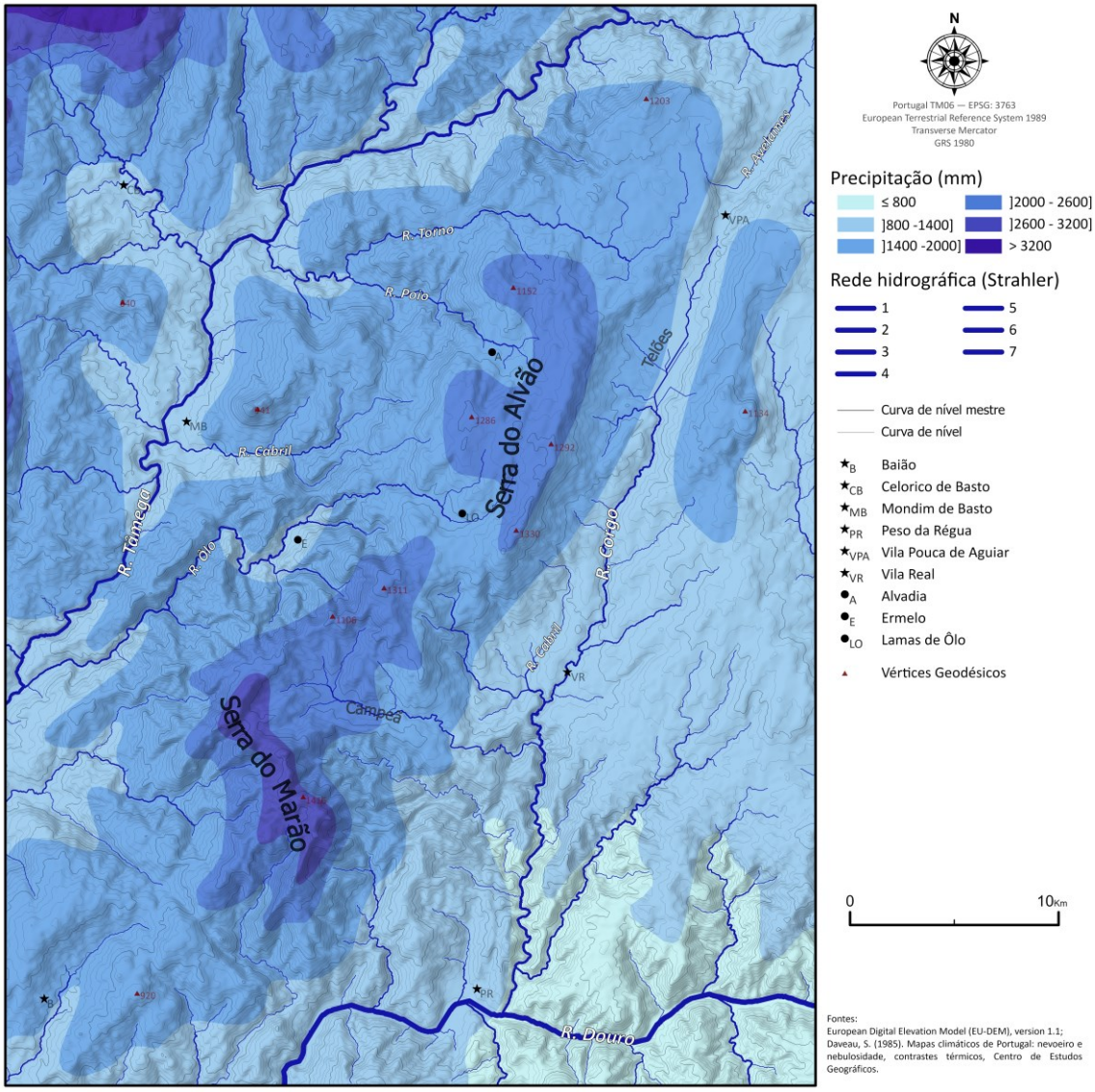

Figura 6 – Precipitação anual média na Serra do Alvão.

As bacias do rio Poio e Olo destacam-se pela quantidade de água que recebem a par do rio Torno são as principais bacias no Alvão. Estas duas, em particular, têm grande parte da sua bacia em locais onde os níveis de precipitação são os mais elevados da serra e parte da sua bacia encontra-se rochas graníticas. Ambos os fatores anteriormente referidos são importantes, uma vez que permitem que os *knickpoints* presentes nestas bacias mantenham a sua espetacularidade durante os meses secos de verão.

1.3. Objetivos e estrutura da dissertação

Inicialmente, para dar seguimento a este estudo foram definidas duas questões de partida iniciais que serão o principal foco na estruturação desta dissertação.

Onde se localizam os principais *knickpoints* na Serra do Alvão?

São os *knickpoints* o principal fator que promove o Geoturismo na Serra do Alvão?

Com o decorrer da dissertação e conforme eram explorados os dados disponíveis e a bibliografia disponível, foram adicionadas novas questões. Estas questões têm o objetivo de complementar e interligar as questões principais de forma a permitir uma melhor compreensão da ligação entre a geomorfologia e o geoturismo na SA. Conforme os resultados obtidos e através a descoberta de novas potencialidades dos dados recolhidos e analisados ao longo da dissertação, procedeu-se a algumas alterações nas questões suplementares.

Como se distribuem os *knickpoints* ao longo da Serra do Alvão?

Que fatores geomorfológicos e/ou geológicos justificam a existência e a distribuição dos *knickpoints* pela Serra do Alvão?

Existem outras caraterísticas geomorfológicas que possam atrair geoturistas à Serra do Alvão?

Todos os *knickpoints* têm potencialidades de atrair geoturistas?

É possível melhorar a valorização dos recursos naturais e dos trilhos pedestres na Serra do Alvão?

É possível sugerir medidas de gestão e ordenamento dos trilhos pedestres desta área mediante os dados recolhidos?

Com o objetivo de responder às questões acima referidas, foram definidos 5 objetivos principais para esta dissertação:

i) Realizar um inventário dos *knickpoints/knickzones* existentes na área do PNA através de saídas de campo e a análise de dados morfológicos da área de estudo;

ii) Compreender, em termos geomorfológicos, as quedas de água existentes na área de estudo tendo em consideração o relevo e a geologia desta área;

iii) Interpretar a interação entre as duas bacias existentes na SA e as suas sub-bacias através da análise dos seus perfis longitudinais, da localização dos *knickpoints e knickzones* e os valores dos índices k_{sn} e o χ;

iv) Realizar um inventário dos trilhos pedestres presentes no PNA e analisar espacialmente a sua utilização, sempre com especial enfoque na influência das quedas de água nos padrões de utilização dos percursos;

v) Compreender a contribuição destes dados para a gestão e ordenamento do território.

De forma a atingir os objetivos definidos, foi estruturado o esquema conceptual exposto na figura 7, o qual foi seguido ao longo de toda a dissertação de forma a atingir as metas definidas de forma mais coerente e eficiente.

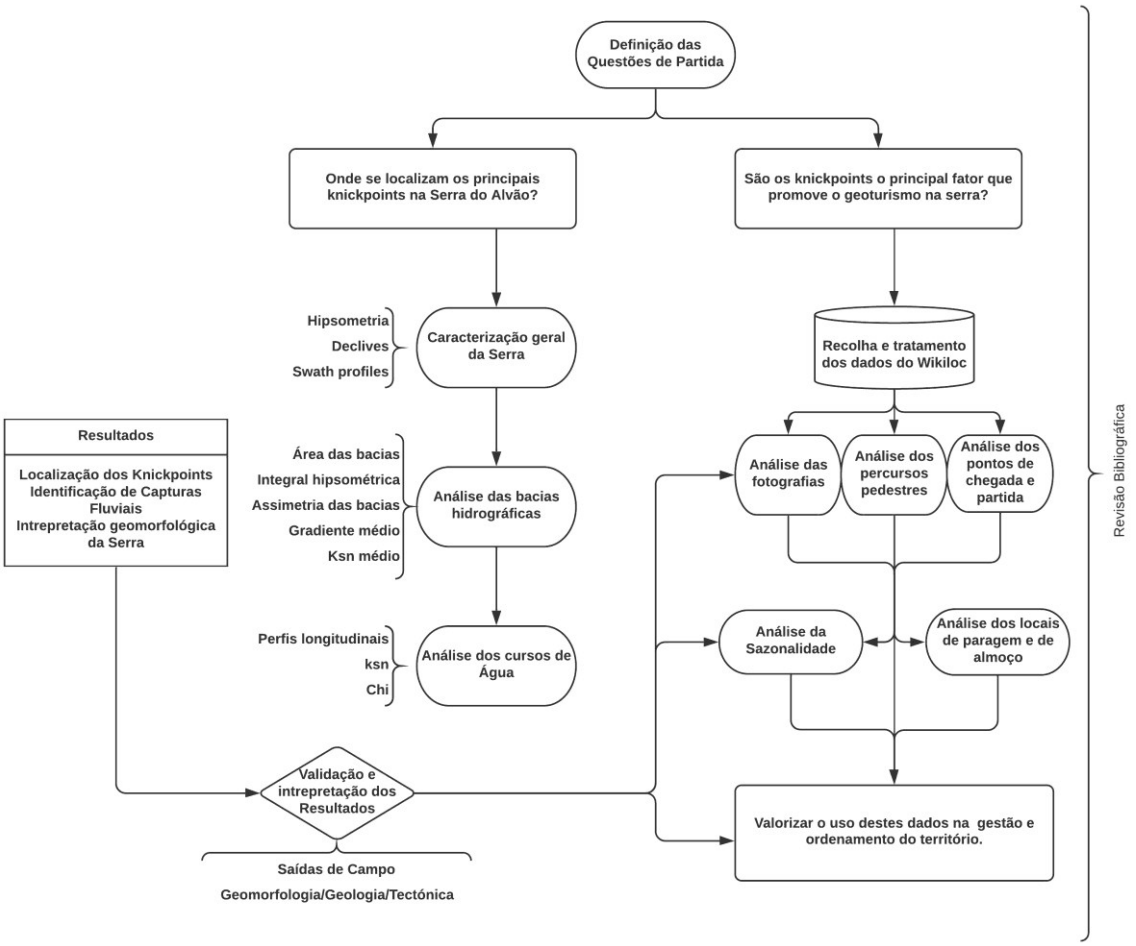

Figura 7 – Estrutura da dissertação.

Inicialmente, procedeu-se á recolha e análise da bibliografia necessária para a realização deste estudo. Tanto as questões de partida suplementares. como o esquema conceptual foram modificados conforme era analisada a bibliografia e evoluía o conhecimento acerca dos dados e das metodologias aplicadas.

Após este passo inicial, procedeu-se à análise geomorfológica da SA que se encontra dividida em quatro fases. As primeiras três correspondem a três abordagens diferentes para entender onde se encontram os *knickpoints/knickzones*, ou seja, abordagens que permitem responder à primeira questão de partida principal, a localização dos *knickpoints* na SA. A quarta e última fase corresponde à validação dos resultados obtidos através de imagens de satélite e de saídas de campo, e a interpretação destes resultados de acordo com as saídas de campo, imagens de satélite, hipsometria, geologia e a deformação tectónica desta área. As três abordagens escolhidas para responder às questões definidas inicialmente são as seguintes:

I. Análise geral de toda a serra através dos declives e da hipsometria;
II. Análise a todas as bacias hidrográficas presentes na serra;
III. Análise individual dos cursos de água presentes na serra através do k_{sn}, χ (chi) e a análise do seu perfil longitudinal.

Esta abordagem permitiu obter três perspetivas diferentes da localização dos *knickpoints.* A primeira deu-nos uma ideia geral da localização das áreas que apresentam um declive elevado e que impõe *knickpoints* aos rios que cortam estas barreiras. A segunda permitiu registar as bacias que têm maior probabilidade de ter knickpoints.

E por último, a terceira abordagem permitiu-nos localizar os knickpoints ao longo dos cursos de água. Índices geomorfológicos como o k_{sn} (índice de declividade normalizado) possibilitam a observação dos segmentos que constituem um curso de água, verificando os que têm maior probabilidade de conter *knickpoints*. A análise dos perfis longitudinais permite marcar o ponto exato onde o *knickpoint* se encontra.

Os resultados obtidos nesta fase também nos deram as respostas a algumas das questões suplementares, nomeadamente, na identificação de outras caraterísticas geomorfológicas interessantes, como a existência de capturas fluviais, de vales secos e das paisagens relíquia presentes na serra. Estes elementos foram importantes para a compreensão geomorfológica geral da serra e permitiu obter os dados necessários para proceder à fase seguinte da estrutura desta dissertação.

Assim, a segunda fase corresponde ao capítulo da análise dos percursos pedestres realizados pelos utilizadores da aplicação Wikiloc (*https://www.wikiloc.com/)* nos últimos 12

anos. Este capítulo encontra-se dividido em três etapas e analisa dados que são possíveis extrair da plataforma Wikiloc. A primeira, corresponde à recolha e organização dos dados recolhidos do Wikiloc, uma vez que esta aplicação não tem qualquer API que permita a sua aquisição automaticamente. Devido à falta de uma API, os ficheiros foram transferidos manualmente e organizados em pastas correspondentes ao mês em que o trilho foi realizado. Foram tomadas todas as precauções necessárias para que não existisse nenhum trilho duplicado na base de dados. A organização dos trilhos já foi executada de forma automática através de uma script em *Python* que utiliza as ferramentas do módulo *Arcpy*. Seguiu-se esta via, dado que a recolha dos trilhos para toda a área de estudo requereria um longo período para a obtenção dos dados da plataforma do Wikiloc, não só pela obrigatoriedade de os recolher manualmente, mas também pelo facto de a plataforma limitar os seus utilizadores no número de downloads mensais. Desta forma, foi escolhido o Parque Natural do Alvão (PNA) e entorno como área-amostra para investigar. Esta área de estudo é uma das principais atrações de toda a serra, abrange vários knickpoints importantes e apresenta um elevado número de percursos realizados, não impossibilitando a execução desta primeira etapa.

A segunda etapa corresponde à análise espacial das fotografias, dos percursos percorridos e dos pontos de partida e chegada registados pelos utilizadores desta aplicação. Inicialmente, foi necessário um tratamento adicional dos percursos realizados de forma a corresponder o percurso registado pelo GPS aos trilhos presentes na área de estudo. De seguida, todos estes dados foram analisados e confrontados com a localização dos knickpoints presentes nesta área.

A última etapa desta fase consistiu na análise da sazonalidade dos percursos realizados, em que se analisou a frequência de trilhos realizados nas quatro estações do ano, e se existia alguma diferença nas áreas com mais afluência de visitantes ao longo do ano. Estes dados permitem uma análise complementar entre a influência dos knickpoints nos percursos dos geoturistas.

Para terminar, a última fase corresponde às considerações finais obtidas através da interpretação conjunta de todos os resultados obtidos ao longo da dissertação. Para analisar e sugerir propostas que promovam um melhor conhecimento e aproveitamento geoturístico do PNA e de toda a SA.

2. A geomorfologia e o Geoturismo: principais conceitos

Ao longo desta dissertação abordamos duas áreas científicas diferentes, a geomorfologia e o geoturismo. Cada uma destas áreas têm conceitos de base importantes de definir para a compreensão do estudo realizado, e por contrapartida tem também autores e obras de referência distintas. Assim sendo, decidiu-se dividir a revisão bibliográfica em dois subcapítulos. O primeiro referente ao nível aos conceitos acerca da geomorfologia fluvial e o segundo acerca do geoturismo.

2.1. Alguns conceitos geomorfológicos

Perfil longitudinal

De acordo com Richard Huggett (2011), "… o perfil longitudinal corresponde ao gradiente da linha de superfície do rio desde a sua nascente até à sua foz. Os perfis podem ser classificados em quatro tipos: côncavos, convexos, retilíneos e em formato de S".

Os perfis côncavos correspondem a perfis próximos de atingir o perfil de equilíbrio, ou seja, correspondem a perfis de rios "antigos" que já tiveram a capacidade de erodir o relevo e atingir uma forma côncava acentuada. Por contrapartida, os perfis convexos correspondem a perfis jovens que tiveram pouco tempo para erodir a respetiva bacia hidrográfica. O perfil retilíneo de um curso de água corresponde a rios que já tiveram algum tempo para erodir a sua bacia de drenagem, mas ainda se encontram longe de atingir o perfil de equilíbrio. Por fim, os rios em formato de S são mais complexos de analisar, pois podem ter atingido ou estar próximo de atingir equilíbrio em dois ou três sectores do curso de água. Este facto pode dever-se à presença de barreiras (litológicas e/ou tectónicas) ao longo do seu curso "que tenham funcionado como níveis de base locais, ou podem corresponder a "processos tectónicos que podem ter influenciado o desenvolvimento do curso de água" (Huggett, 2011).

Perfil de equilíbrio

Ao longo da evolução de um rio, este tende a evoluir para um perfil de equilíbrio, definido por uma acentuada curvatura côncava. Esta tendência natural é comum a todos os rios, e faz com que tenham a tendência de evoluir para um perfil longitudinal que apresente uma curvatura côncava. Esta curvatura mostra o equilíbrio entre o abastecimento sedimentar do curso de água e a capacidade de transporte destes sedimentos.

Este estado pode ser influenciado por vários fatores como a litologia, o declive e o clima fazendo com que rios em condições diferentes possam ter um período temporal diferente até atingir o perfil de equilíbrio. Quando sujeito a condições de equilíbrio o rio ganha capacidade para alargar o leito do rio, formar meandros e terraços (A. A. Martins et al., 2017).

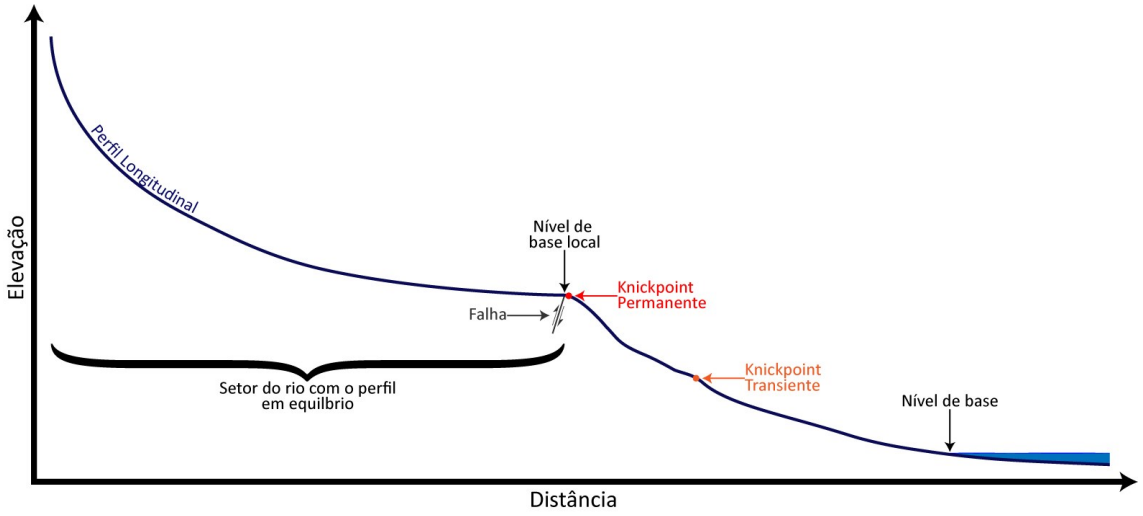

Figura 8 – Perfil longitudinal de um rio e conceitos associados.

Nível de Base

O termo nível de base corresponde ao ponto com a elevação mais baixa ao longo do rio, ou seja, o nível de base principal de um rio corresponde ao oceano ou lago para o qual este desagua (Huggett, 2011). Os níveis de base locais correspondem a barreiras físicas que travam ou diminuem consideravelmente a onda erosiva proveniente do nível de base principal. Estas barreiras podem ser divididas em dois grupos, as barreiras

naturais como é o caso das mudanças litológicas, knickpoints e em alguns casos "lagos e barragens feitas por castores" (Huggett, 2011). O segundo grupo corresponde a barreiras contruídas pelo homem como as barragens e os lagos artificiais.

Erosão Remontante

A erosão remontante corresponde ao processo através do qual um curso de água "desgasta para montante em direção ao divisor" (Goudie, 2004) que limita a sua bacia de drenagem. É com este processo que os rios atingem o perfil de equilíbrio e alteram "significativamente a paisagem em que se inserem" (Goudie, 2004). Esta forma de erosão é também uma das responsáveis de processos com as capturas fluviais cujos impactos não se refletem apenas na paisagem, mas também na biologia e economia dos territórios onde se inserem.

O impacto da erosão remontante está dependente da resistência litológica, pelo que quando, por exemplo, um curso de água corre sobre rochas de maior resistência à erosão, a evolução do perfil longitudinal acontece a um ritmo mais lento do que quando este fluí por rochas que apresentam menor resistência à erosão (Goudie, 2004).

Knickpoints e knickzones

Knickpoint (figura 9) é um elemento da paisagem fluvial que corresponde a "uma secção do perfil longitudinal de um rio substancialmente inclinada" (Goudie, 2004). Os abruptos são facilmente visíveis ao analisar ao perfil longitudinal de um rio e podem dever-se à atividade tectónica (ocorrência de um sismo, p. ex.), às mudanças climáticas, à litologia, a mudanças súbitas de caudal e/ou a mudanças do nível de base do curso de água (Bierman & Montgomery, 2014; Elorza, 2008).

Figura 9 – Exemplo de um knickpoint permanente: Frecha da Misarela, Serra da Freita, Arouca. Foto tirada por João P74 (https://flic.kr/p/s5DVB7).

Quando os *knickpoints* se estendem sequencialmente ao longo de um curso de água, estas formações são denominadas de *knickzones*, distribuindo-se numa sequência de quedas de água ou ao longo de uma área de rápidos.

Os aumentos súbitos no declive do perfil longitudinal de um rio podem ser casos isolados ao longo do curso de um rio ou corresponderem a "áreas ao longo do curso de um rio é mais declivosa que a montante ou jusante" (Bierman & Montgomery, 2014), dando origem a pequenas quedas de água que se estendem ao longo de vários degraus ou rápidos.

Quer as *knickzones* (Kz) como os *knickpoints* (Kps) podem ser classificadas como permanentes ou transientes.

Os **Kps transientes** correspondem a concavidades móveis ao longo do perfil longitudinal de um rio que, ao longo do tempo, "recuam, às vezes quilómetros até que se transformam numa série de rápidos e eventualmente desaparecem" (Christopherson & Birkeland, 2018) conforme o rio atinge o seu perfil de equilíbrio, "deixando ao longo do

curso de água planos de cheia abandonados que posteriormente se transformam em terraços fluviais" (Bierman & Montgomery, 2014).

A origem de *knickpoints/knickzones* deste tipo estão normalmente associadas a mudanças súbitas do caudal do rio (p. ex. quando ocorre uma captura), ou a mudanças no nível de base. Por outro lado, tal como o nome indica, os **Kps permanentes** são fixos e mantêm-se no mesmo local do perfil longitudinal de um rio, estando associados a mudanças litológicas ou em áreas afetadas pela deformação tectónica.

Capturas Fluviais

Os rios são elementos complexos de uma paisagem, e ao longo da sua existência modificam o seu vale e percurso, sendo responsáveis por muitos elementos visíveis na paisagem atual. As mudanças ocorrem numa escala temporal quase impercetível no período da vida humana, mas os seus efeitos podem dar origem a algumas das paisagens mais belas na natureza, as quedas de água e as cascatas.

Muitas destas mudanças devem-se à ocorrência do processo geomorfológico conhecido por *captura fluvial* (figura 10), ou seja, o evento que ocorre quando dois cursos de água se intercetam e um deles captura a bacia de drenagem que fluía para o outro rio (Bishop, 1995). Isto provoca grandes alterações em ambos os rios, quer devido às diferenças de caudal que ambos estão sujeitos, quer pela nova vaga de erosão regressiva que a bacia capturada irá receber uma vez que associado à captura está a passagem para um "nível de base mais baixo, que lhe aumenta o potencial erosivo" (Goudie, 2004). Também na biologia podem acontecer mudanças na sequência de uma captura fluvial, uma vez que podem ser introduzidas novas espécies ao curso de água que captura outro rio. Estas alterações podem ser mais ou menos significativas dependendo de vários fatores como, por exemplo, a área capturada. Se os rios intervenientes neste evento são totalmente diferentes ou se são apenas dois afluentes de uma rede de drenagem principal.

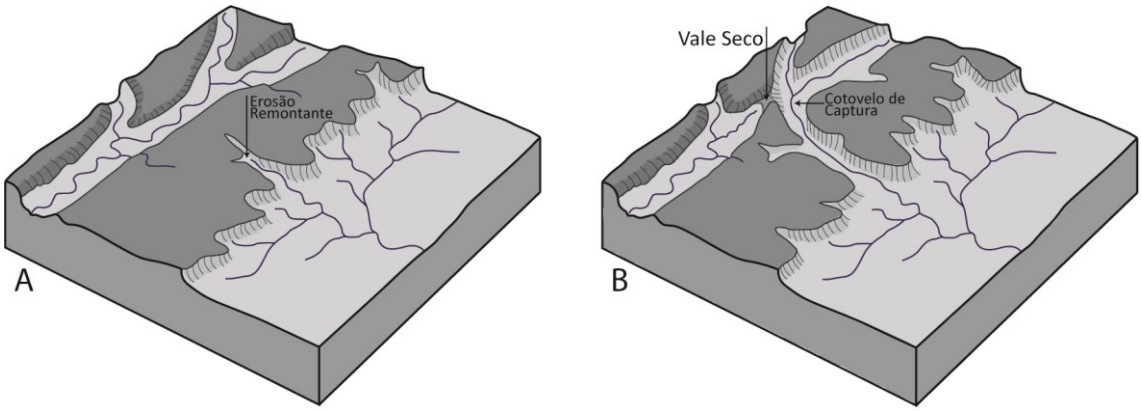

Figura 10 – Captura Fluvial por erosão remontante. a) Revelo anterior à captura fluvial. b) Relevo após a captura fluvial e as mudanças na direção de drenagem. Adaptado de (Bierman & Montgomery, 2014).

As capturas podem dever-se a vários mecanismos tais como, os movimentos tectónicos, a formação de glaciares, o recuo de glaciares e a erosão (Bierman & Montgomery, 2014; Elorza, 2008). Dentro das capturas resultantes da erosão, podem ser classificadas conforme o tipo de erosão a que a captura se deveu, subdividindo-se em capturas resultantes de erosão remontante, erosão lateral ou erosão do carso em áreas de substrato carbonatado (Elorza, 2008).

De acordo com Bishop (1995), a erosão remontante é o mecanismo mais comum na reorganização da rede de drenagem (Bishop, 1995). Ocorre quando um rio recua e aumenta o seu curso através da erosão da área a montante, intercetando bacias hidrográficas vizinhas, passando estas a fluir para o novo rio e deixando um vale seco no antigo curso de água que as ligava na sua bacia hidrográfica original. Ao longo do seu novo curso é formado um *knickpoint/knickzone* correspondente à adaptação ao novo nível de base. Este knickpoint irá recuar ao longo do tempo, enquanto o rio evoluí para atingir o perfil de equilíbrio (Bierman & Montgomery, 2014).

Índice Normalizado de Declividade (k_{sn})

O k_{sn} deriva da relação entre o declive e a área para montante do segmento do rio que se está a calcular, permitindo a comparação entre os perfis de cursos de água com grandes diferenças no tamanho da sua bacia de drenagem (Castillo, Muñoz-Salinas, &

Ferrari, 2014; Kirby & Whipple, 2012). Este índice é calculado pela equação 2, sendo esta derivada da função do índice de declividade (k_s) que está representado na equação 1:

$$S = k_s A^{-\theta} \quad (1)$$

$$k_{sn} = k_s A_{cent}^{(\theta_{ref}-\theta)} \quad (2)$$

Na equação número 2 temos representada a fórmula de calculo do k_{sn}, em que k_s corresponde ao índice de declividade, k_{sn} ao índice normalizado de inclinação, A_{cent} corresponde à "área do ponto médio do segmento analisado" (Wobus et al., 2006), por fim, o θ_{ref} corresponde à concavidade de referência do perfil longitudinal e θ corresponde ao índice de concavidade (Wobus et al., 2006). A principal diferença entre as duas é a utilização de um valor de concavidade de referência, e a utilização de um índice normalizado. Através deste método é possível determinar a inclinação dos cursos de água ao longo do perfil longitudinal, sendo estes declives "corrigidos para a dependência esperada do declive do perfil na sua área de drenagem" (Kirby & Whipple, 2012).

O cálculo deste índice depende muito da qualidade dos dados topográficos e dos modelos digitais de terreno (Kirby & Whipple, 2012). De forma a prevenir e reduzir a dispersão de valores, entre outros erros inerentes aos modelos, podem ser aplicados vários filtros que permitem corrigir o próprio MDT. Um destes exemplos é o filtro *fill sinks que* é usualmente usado neste processo para corrigir depressões artificiais dadas pelos *pixéis* do MDT (figura 11).

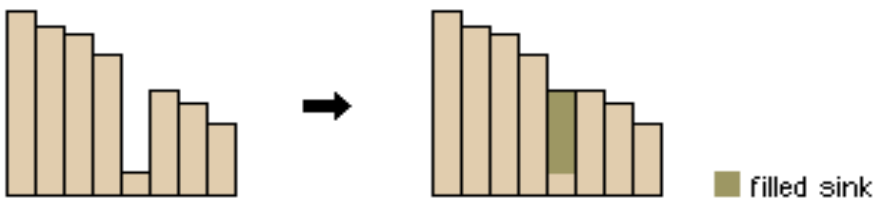

Figura 11 – Como funciona o filtro fill sinks.

Índice de declividade do canal (χ)

O *índice de declividade do canal (Chi* – χ) foi proposto em 2000, por Leigh Royden, Jack Whipple e Marin Clark, no seu estudo acerca da evolução dos perfis de longitudinais dos rios (Perron & Royden, 2012). Este índice, em vez de usar parâmetros de forma a obter uma estimativa dos valores de inclinação do perfil ao longo do perfil longitudinal, trabalha ambos os lados da equação de forma a obter um método integral de calcular o declive (Castillo et al., 2014; Kirby & Whipple, 2012; Perron & Royden, 2012).

O $\boldsymbol{\chi}_{(x)}$ foi desenvolvido tendo como base a equação do Stream Power Model (equação 3), e a partir desta é possível chegar à equação final do método integral para a determinação do declive do canal (equação 4), sendo que o χ é calculado separadamente (5) (Perron & Royden, 2013).

$$\frac{\partial z}{\partial t} = U(x,t) - K(x,t)A(x,t)^m \left|\frac{\partial z}{\partial t}\right|^n \qquad (3)$$

$$Z(x) = Z(x_b) + \left(\frac{U}{KA_o{}^m}\right)^{\frac{1}{n}}\chi \qquad (4)$$

Em que χ é calculado por:

$$\chi = \int_{x_b}^{x} \left(\frac{A_0}{A(x)}\right)^{\frac{m}{n}} dx \qquad (5)$$

Através do valor de χ é possível identificar perfis de equilíbrio dos cursos de água, usar tributários para estimar os parâmetros do *Stream Power*, comparar o perfil de um rio que ao longo do seu comprimento sofra uma ação diferenciada da tectónica, precipitação ou que circule sobre rochas de diferente resistência e para identificar sinais de kp transientes em perfis que não estão em equilíbrio (Perron & Royden, 2013). Para identificar rios em equilíbrio partimos do princípio que um "*rio em equilíbrio têm um chi plot linear*" (Perron & Royden, 2012). Este facto pode ser utilizado para determinar o melhor valor de m/n para uma determinada área, mas devemos escolher um curso que

saibamos que está em equilíbrio e verificar qual o valor de m/n que resulta num *chi plot* o mais linear possível. No caso dos tributários Perron e Royden (2012), argumentam que os tributários em equilíbrio e com igual movimentação tectónica e taxa de erosão devem ser colineares com o curso de água principal, ou seja, "o valor correto de m/n deve linearizar e colapsar todos os tributários com o perfil do rio principal". É importante referir que o melhor valor de m/n neste caso, pode não ser o melhor para cada rio individual. Uma aplicação muito útil deste índice é comparar diferenças ao longo do perfil de um rio, partindo do princípio que estas diferenças se devem a taxas de soerguimento (U) e do coeficiente de erodibilidade (K) diferentes em que "o declive do perfil de equilíbrio é superior quando $\mathrm{U/K}$ é mais elevado" (Perron & Royden, 2012). Finalmente o χ também é útil para identificar sinais transitórios, que se "propagam para montante nos diferentes canais, (…) a transformação apresentada, remove o efeito da área de drenagem e coloca os sinais todos transitórios ao mesmo nível, caso K e U sejam uniformes" ao longo dos canais (Perron & Royden, 2012).

De acordo com os autores nesta transformação da equação do *Stream Power,* o χ tem a vantagem de "*eliminar a necessidade de calcular o declive a partir de dados topográficos com ruído*"(Perron & Royden, 2012).

2.2. Geoturismo: Principais conceitos

Geoturismo

O Geoturismo pode ser definido como o turismo que tem como principal ponto de atração a componente geológica, geomorfológica e geográfica do território, permitindo aos seus praticantes descobrir o local enquanto disfrutam, aprendem e conhecem o valor científico de certos locais, os chamados geossítios e/ou geomorfossítios. De acordo com Hose (2012) e Panniza (2001), o Geoturismo abrange a interpretação do relevo, da paisagem e das propriedades físicas dos sítios geológicos e geomorfológicos. Inclui também a vida, o trabalho e todos os documentos que os investigadores associados a

estes locais desenvolveram (Hose, 2012). O Geoturismo pode ser também considerado como "turismo cognitivo e/ou turismo de aventura com base em visitas a locais com valor geológico (geossítios) e reconhecimento de processos geológicos e experiências estéticas obtidas pelo contato com um geossítio" (Hose, 2012). Ou seja, é um turismo baseado no conhecimento científico, une a indústria do turismo com a conservação e a interpretação de atributos abióticos da natureza, tendo em consideração as questões culturais relacionadas com os geossítios e expõe estes atributos de um local para o público em geral (Sadry, 2009).

Ursula Ruchkys define Geoturismo como "um segmento da atividade turística que possui o patrimônio geológico/geomorfológico como a sua principal atração e procura a sua proteção através da conservação destes recursos e da consciência ambiental do turista, utilizando, para isso, a interpretação desse patrimônio, tornando este acessível ao público leigo, além de promover sua popularização e o desenvolvimento das ciências da Terra" (Ruchkys, 2007). Esta definição reforça a importância da Geoconservação e a importância do Geoturismo para a preservação das caraterísticas geológicas e geomorfológicas do território, promovendo um desenvolvimento do conhecimento e da preocupação acerca do ambiente e da necessidade de proteger estes locais com os seus praticantes.

A ideia do Geoturismo como promotor da geoconservação, preservação ambiental e de uma atividade que promove o conhecimento e aprendizagem, foi reforçada com as definições de Joyce (2006) e Amrikazemi (2010). Estes consideram o Geoturismo como uma forma consciente e responsável de explorar a natureza e os aspetos geológicos e geomorfológicos de um local, tendo como objetivo visitar, descobrir e reconhecer fenómenos geológicos/geomorfológicos, entender o seu desenvolvimento e aprender acerca da formação destes fenómenos (Amrikazemi, 2010). Para Joyce (2010) o Geoturismo já se fazia quando uma pessoa visitava um local com a intenção de aprender acerca de aspetos da geologia e geomorfologia desse sítio.

Em 2010 assumem uma das definições mais completas de Geoturismo, Ross Dowling Cowan e David Newsome vêm esta atividade como “uma forma de turismo numa área natural que se concentra especificamente na geologia e na paisagem, promovendo o turismo nos geossítios, a conservação da geo-diversidade e a compreensão das ciências da terra através da apreciação e da aprendizagem ao ar livre. Isso é alcançado através de visitas independentes a propriedades geológicas, uso de trilhos geográficos e visitas guiadas” (Dowling & Newsome, 2010).

Atualmente, o Geoturismo sustenta-se em três aspetos fundamentais inter-relacionados: a geo-história, a geoconservação e a geo-interpretação (Hose, 2012).

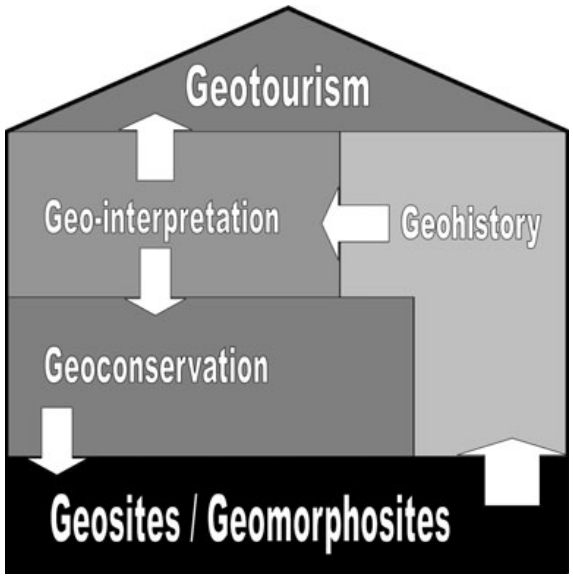

Figura 12 – Diagrama topológico dos 3G's que definem o Geoturismo e a sua importância (Hose, 2012).

Ecoturismo

O ecoturismo pode ser considerado uma forma de turismo que zela pela conservação e preservação da natureza e pela integração, preservação e desenvolvimento das comunidades locais. De acordo com Thomas Hose (2012), o ecoturismo aproveita os recursos turísticos de forma a que as necessidades económicas, sociais e estéticas sejam obtidas, enquanto ao mesmo tempo se preserva a integridade cultural, a biodiversidade e importantes processos ecológicos. No geral pode-se considerar que o ecoturismo tenta

"beneficiar a conservação e as comunidades enquanto fornece aos visitantes experiências educacionais e agradáveis" (Honey, 2008). Atualmente, o ecoturismo também está muito associado à conservação ambiental, e alguns autores consideram que "que por definição o ecoturismo pode apenas ocorrer em áreas naturais" (Reynard, 2018).

Geoconservação

A geoconservação foca-se na necessidade de preservação das propriedades naturais da Terra como são os afloramentos rochosos, as formas de relevo, as quedas de água e dos locais onde estas propriedades podem ser analisadas. Este locais são normalmente classificados de geossítios e/ou geomorfossítios, sendo consideradas as unidades básicas do património geológico da Terra. Este termo engloba também a preservação de locais com enorme importância geográfica e geomorfológica. Para a definição destes locais é necessário a avaliação do património geográfico, geomorfológico e geográfico, ou seja, a avaliação do geo-património. Na literatura internacional a geoconservação é também associado a temas de conservação e riscos ambientais, sustentabilidade dos recursos naturais e na defesa do património que promova a manutenção de habitats naturais, biodiversidade e o ecossistema (Brocx & Semeniuk, 2007; Henriques, Reis, Brilha, & Mota, 2011).

Segundo José Brilha, a geoconservação corresponde à "identificação, proteção e manejamento de elementos valiosos da geo-diversidade" (Brilha, 2016b). Definição que também segue as linhas de pensamento de Chris Sharples que olha para a geoconservação como uma forma de preservar a "diversidade natural de propriedades e sistemas geológicos e geomorfológicos" (Sharples, 2002). Sharples reforça ainda a necessidade de proteger estes locais das atratividades de Geoturismo, uma vez que os atrativos geológicos e geomorfológicos não são sempre robustos e podem ser facilmente danificados por visitantes (Sharples, 2002).

A geoconservação não se limita apenas à importante preservação das características naturais do território, mas engloba também a necessidade de conservação do património

histórico e científico dos geossítios e geomorfossítios. É necessária a proteção e "preservação dos recursos da ciência da Terra para fins de patrimônio, ciência e educação" (Semeniuk & Semeniuk, 2001) e a conservação da "história da ciência incorporada em alguns locais" (Brocx & Semeniuk, 2007).

Os geossítios/geomorfossítios têm uma importante história associada à sua existência que é necessária proteger. Estão intrinsecamente ligados à história contínua do desenvolvimento humano e de um senso de lugar, do desenvolvimento cultural e valores estéticos da população, em alguns casos estes locais podem até estar relacionados ao desenvolvimento de valores religiosos (Brocx & Semeniuk, 2007). Dixon (1996), afirma que a geoconservação é justificada pelos seus valores intrínsecos, ecológicos e patrimoniais, que podem ser definidos de duas formas: pelo seu valor intrínseco, ou seja, um determinado geossítio merece ser protegido pelas suas características e valias. Ou pelo seu valor ecológico, pela importância que um determinado local tem para a manutenção do sistema natural de que faz parte (Dixon, 1996).

Geo-história

A história associada a um geossítio pode ser um importante promotor do uso desse local para o geoturismo. Devido à história de um determinado local é possível contextualizar os visitantes para a importância daquela determinada caraterística ou fenómeno/processo geológico/geomorfológico para a população, cultura e religião naquela região. De acordo com Thomas Hose (2012), a geo-história é responsável pelo estudo, avaliação e aplicação de uma narrativa das descobertas geológicas/geomorfológicas, dos eventos e personalidades de forma a contextualizar a importância contemporânea, socioeconómica, cultural ou religiosa de um determinado geossítio. Na figura 13 podemos ver como os estudos geo-históricos interagem com o geoturismo e consequentemente com os seus praticantes.

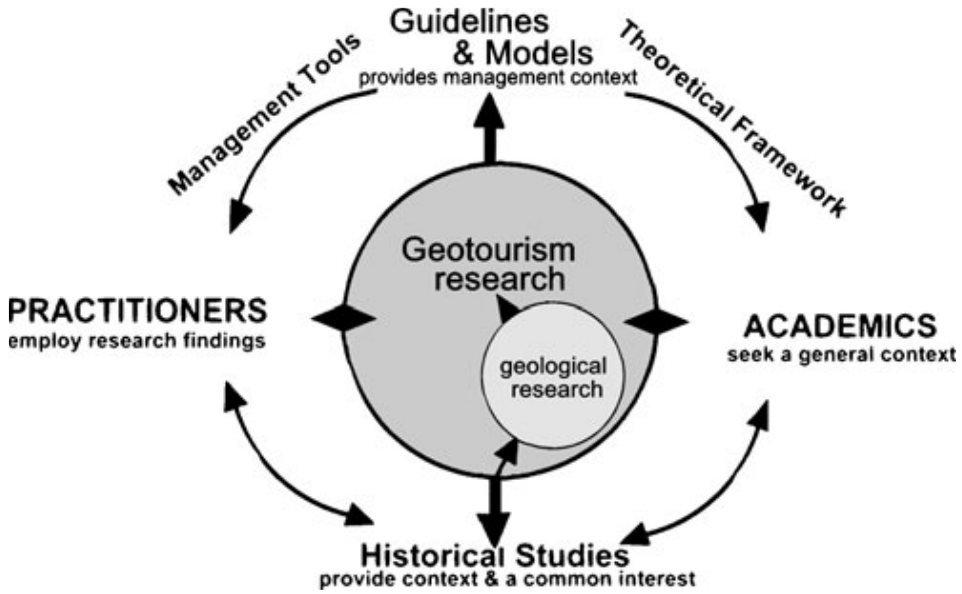

Figura 13 – Revisão do Modelo Geo-histórico (Hose, 2012).

Geo-interpretação

Este termo pode ser visto como a interpretação das paisagens e caraterísticas geológicas e geomorfológicas e geográficas presentes no território de um ponto de vista científico, sem menosprezar os seus atributos estéticos, culturais ou religiosos. Este ponto de vista deve ser passado para os geoturistas que visitem o local em questão.

No entanto, ao expor estes saberes acerca dos geossítios é necessário ter em consideração que "muitos visitantes não são especialistas em ciências naturais e para estes a geo-interpretação destes locais é apenas um valor adicional à beleza estética dos geossítios, e infraestruturas intrusivas no seu campo de visão podem diminuir o interesse do público" (Migoń & Pijet-Migoń, 2017).

Geossítios e Geomorfossítios

Os geossítios podem ser explicados simplesmente como locais de interesse geológico, geomorfológico e geográfico. De acordo com Brilha (2015), a beleza da paisagem é completamente irrelevante, uma vez que os valores científicos de certas caraterísticas do território não dependem em nada da sua aparência estética. Contudo, no aproveitamento de um geossítio para a prática de geoturismo, a beleza da paisagem torna-se num elemento importante.

Segundo o mesmo autor, o principal método de identificação de geossítios é o preenchimento de inquéritos no campo. O autor indica que os inquéritos devem cobrir quatro critérios principais: representatividade, integridade, raridade e conhecimento científico. A representatividade corresponde à possibilidade de um geossítio conseguir ilustrar um processo geológico ou uma caraterística geológica que traz uma contribuição importante para entender o contexto geológico que o local representa. A integridade corresponde ao estado de conservação atual do geossítio. A raridade é o número de geossítios semelhantes que existem na área de estudo. Por fim, o conhecimento científico consiste na existência de publicações científicas acerca das caraterísticas e processos que o geossítio representa (Brilha, 2016a).

Os geomorfossítios são uma subcategoria dos geossítios, correspondentes a locais em que o seu interesse se deve a propriedades geomorfológicas. De acordo com Mario Panizza (2001), um geomorfossítio pode ser definido como uma forma de relevo a que se pode atribuir um determinado valor. Locais que podem dever o seu valor a atributos estéticos, socioeconómicos, culturais ou científicos (Panizza, 2001).

Geo-educação

Geo-educação pode ser definida como a utilização de geossítios, geoheritage e do geoturismo para educar cientificamente os visitantes e permitir a estes a possibilidade de saber mais acerca dos fenómenos geomorfológicos, geológicos e geográficos do local em questão. Desta forma, os geossítios permitem "melhorar a experiência do visitante, desenvolver o seu conhecimento" (Gordon, 2018).

A geo-educação pode ser promovida de uma forma significativa através de uma geoconservação adequada dos geossítios, de forma a identificar, proteger e gerir os locais com um elevado valor educacional (Henriques et al., 2011). O alto valor científico destes lugares permite "desenvolver consciência, valores e responsabilidade pelo geo-património, principalmente entre os jovens" (Gordon, 2018).

Património Geológico (*Geoheritage*)

O património geológico é mais conhecido a nível científico pelo termo *geoheritage*, que deriva dos termos património/herança e corresponde às caraterísticas de natureza geográfica, geomorfológica e geológica que são transmitidas pela tradição (Brocx & Semeniuk, 2007). O termo foi utilizado pela primeira vez num inventário preliminar do património geológico na Tasmânia e, atualmente, foi entendido como particularidades naturais que são importantes para a compreensão da história do nosso planeta, o geoheritage era percecionado tal como um documento histórico insubstituível (Bradbury, 1993).

Em 1996 *geoheritage* foi definida como um "componente da geo-diversidade natural que são de valor significativo para os seres humanos, para fins que não diminuem seus valores intrínsecos ou ecológicos" (Dixon, 1996). Esta ideia é reforçada por Sullivan, acrescentando que geoheritage corresponde a todos os sítios de importância geográfica, geológica e geomorfológica para o homem exceto aqueles que devem a sua importância a necessidade de exploração de recursos naturais (Sullivan, 1997). De um ponto de vista mais focado, o património geológico é visto como as "características significativas da geologia, incluindo atributos ígneos, metamórficos, sedimentares, estruturais, paleontológicos, geomórficos, pedológicos ou hidrológicos que oferecem informações importantes acerca da formação ou desenvolvimento do nosso planeta" (Semeniuk & Semeniuk, 2001).

Ainda em 1997, Edmund Joyce define que o geo-património corresponde a características geológicas de valor e consistem em formas e paisagens naturais, materiais terrestres, evidências de processos e tempo geológico. Esta descrição foca-se nos processos geológicos mas, o património geológico, tal como no geoturismo está também associado ao valor científico dos locais e do seu papel para pesquisa cientifica e a educação, enquanto que noutros locais a sua importância pode estar associada a valores estéticos, culturais ou recreativos, como é o caso de certos minerais, formações rochosas ou quedas de água (Komoo, 2004).

3. Estudo geomorfológico da Serra do Alvão

3.1. Análise geral da Serra do Alvão

Através da análise da hipsometria e dos declives visíveis nas figuras 14 e Figura 15, é possível compreender que os locais em que a localização dos knickpoints é mais provável estão essencialmente distribuídos por três setores: ao longo da escarpa ocidental da serra, e em alguns pontos da escarpa Nordeste e Sudeste.

A escarpa ocidental da SA corresponde à área com maior probabilidade de se encontrarem a maioria dos knickpoints, uma vez que os principais cursos de água descem a serra por esta escarpa. Contudo, está dividida em duas vertentes em que os declives aumentam intercalados por duas superfícies aplanadas. O primeiro nível aplanado corresponde ao topo da serra onde se encontram as localidades de Lamas do Olo, Alvadia e Gouvães da Serra. Já a segunda, está situada a uma altitude menor e contêm as localidades do Pioledo, Bilhó, Varzigueto e Limões. É espectável que a maioria dos knickpoints existentes ocorram nos locais em que os rios ultrapassam estas vertentes.

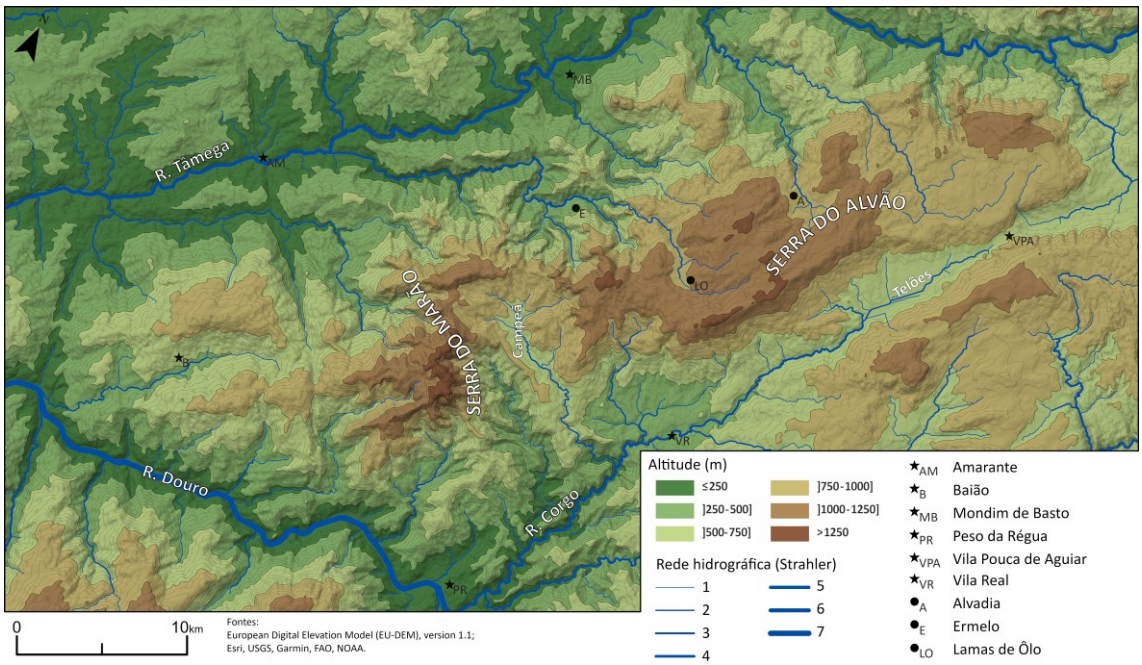

Figura 14 – Mapa hipsométrico da Serra do Alvão e áreas circundantes.

A escarpa situada a Este comporta-se de forma diferente. Apenas existe um degrau do topo até à base da escarpa. A maior diferença nesta escarpa é que existem somente dois rios que têm a sua nascente no topo da serra e ultrapassam a escarpa. Os restantes rios presentes neste lado da serra correspondem a pequenos ribeiros que têm a sua nascente na escarpa. O rio Cabril (bacia do rio Corgo) ultrapassa esta escarpa a Sul, em Galegos da Serra e o rio Avelames a Norte ultrapassa este degrau junto a Vila Pouca de Aguiar até chegar à bacia de Pedras Salgadas. A ribeira de Arnal, afluente do rio Cabril (Corgo), também pode ser dividida em dois patamares intercalados por duas escarpas. A primeira encontra se entre os 1100 e os 900 metros que corresponde a passagem do topo da serra para o segundo patamar é nesta escarpa que se encontra a aldeia do Arnal. A segunda escarpa encontra-se entre os 800 e os 600 metros.

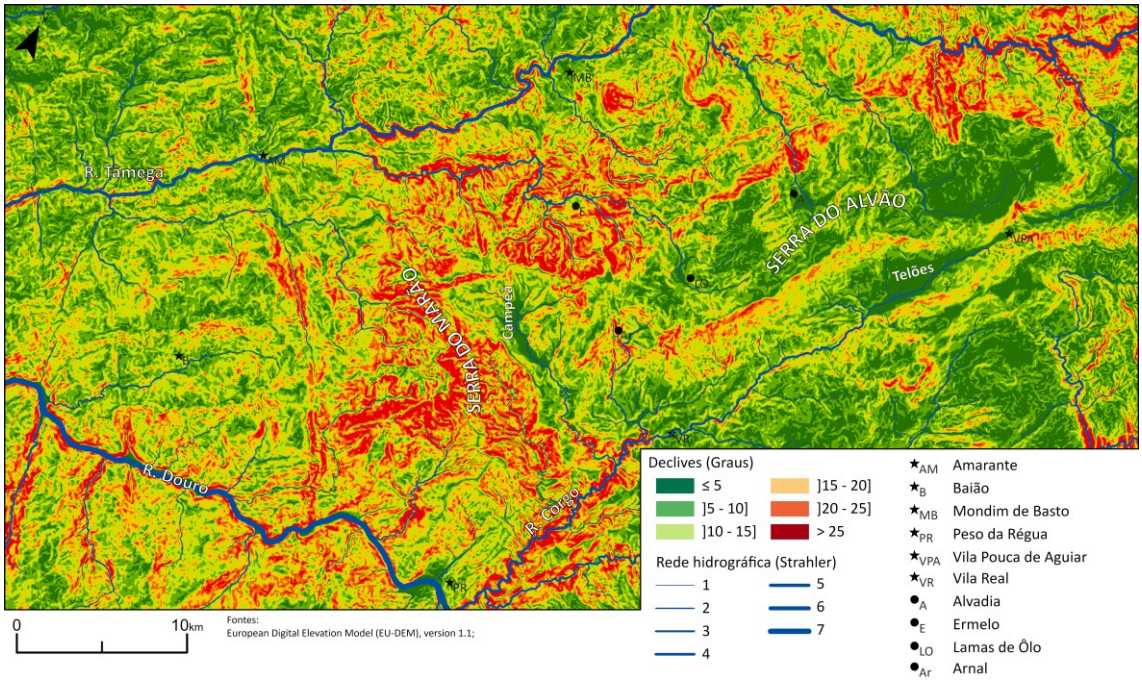

Figura 15 – Mapa de declives da Serra do Alvão

As escarpas Norte não têm rios que nascem no topo da serra e ultrapassem a escarpa, apenas tem pequenos ribeiros que têm a sua nascente na escarpa. O ribeiro mais extenso corresponde à Ribeira do Ouro que se carateriza pelo seu vale muito encaixado. A Sul os rios que fluem pela escarpa correspondem a pequenos afluentes do rio Sordo que nascem também ao longo da escarpa.

Através da interpretação de *Swath Profiles* (figura 16) é possível confirmar que a morfologia da serra é marcada pelo característico topo aplanado e imponentes escarpas. É possível também verificar as disparidades entre o Sul da serra, em que predominam as rochas metamórficas. Neste setor as diferenças de altitude entre o perfil das altitudes máximas e mínimas é muito superior ao que se observa no setor correspondente aos granitos figura 16A). O que é um indicador da menor resistência litológica que este setor da serra apresenta, facilitando a erosão, embora seja possível encontrar aqui áreas circunscritas de rochas quartzíticas que apresentam maior resistência e originam relevos isolados.

Na figura 16B é possível ver o perfil Oeste – Este, entre Celorico de Basto e Vila Real, que nos mostra a morfologia da Serra em que a litologia predominante são os xistos, e passa por importantes áreas da serra. Na escarpa Oeste abrange a área de Ermelo, onde é possível ver o mais reconhecido *knickpoint* da SA, as Fisgas de Ermelo, e a Leste passa pela área de Galegos das Serra e do Arnal. A primeira interpretação que se pode tirar deste perfil é a inexistência do topo aplanado caraterístico da SA. Na vertente Oeste, é possível verificar a existência dos dois patamares, primeiro nos 1000 metros de altitude que corresponde à bacia do rio Olo, na área de Lamas de Olo, e o segundo a uma altitude de 800 metros, junto à localidade do Varzigueto. Na vertente Este é possível ver também dois patamares a altitudes idênticas, o primeiro situa-se nos 1100 metros e o segundo nos 800 metros.

Tanto na figura 16C como a Figura 16D, é possível observar novamente os níveis aplanados observados na vertente oeste da figura 16B. Estes perfis situam-se no setor da serra em que predominam as rochas ígneas, sendo possível verificar que em ambos, o topo da serra é aplanado e se apresenta inclinado para Oeste, sendo a inclinação mais pronunciada na bacia do rio Poio (figura 16D). No Swath Profile Figura 16C, observa-se no que nesta área o topo da serra não está inclinado, a bacia que o ocupa é a bacia do rio Olo cujos cursos de água neste setor tem uma orientação predominante no sentido Norte-Sul. O segundo nível aplanado é muito visível nestes dois *Swath Profiles*, particularmente na figura 16C, em que este patamar é longo e os perfis com as cotas mais baixas em toda a área não recuam muito em relação ao das cotas máximas neste nível. Nos perfis da bacia do rio Poio, o perfil das cotas mínimas já recuou cerca de 3 quilómetros fazendo com que ambas as escarpas que limitam estas superfícies aplanadas estejam muito próximas. É ao longo destas duas escarpas que se vão situar as espetaculares quedas de água do rio Poio.

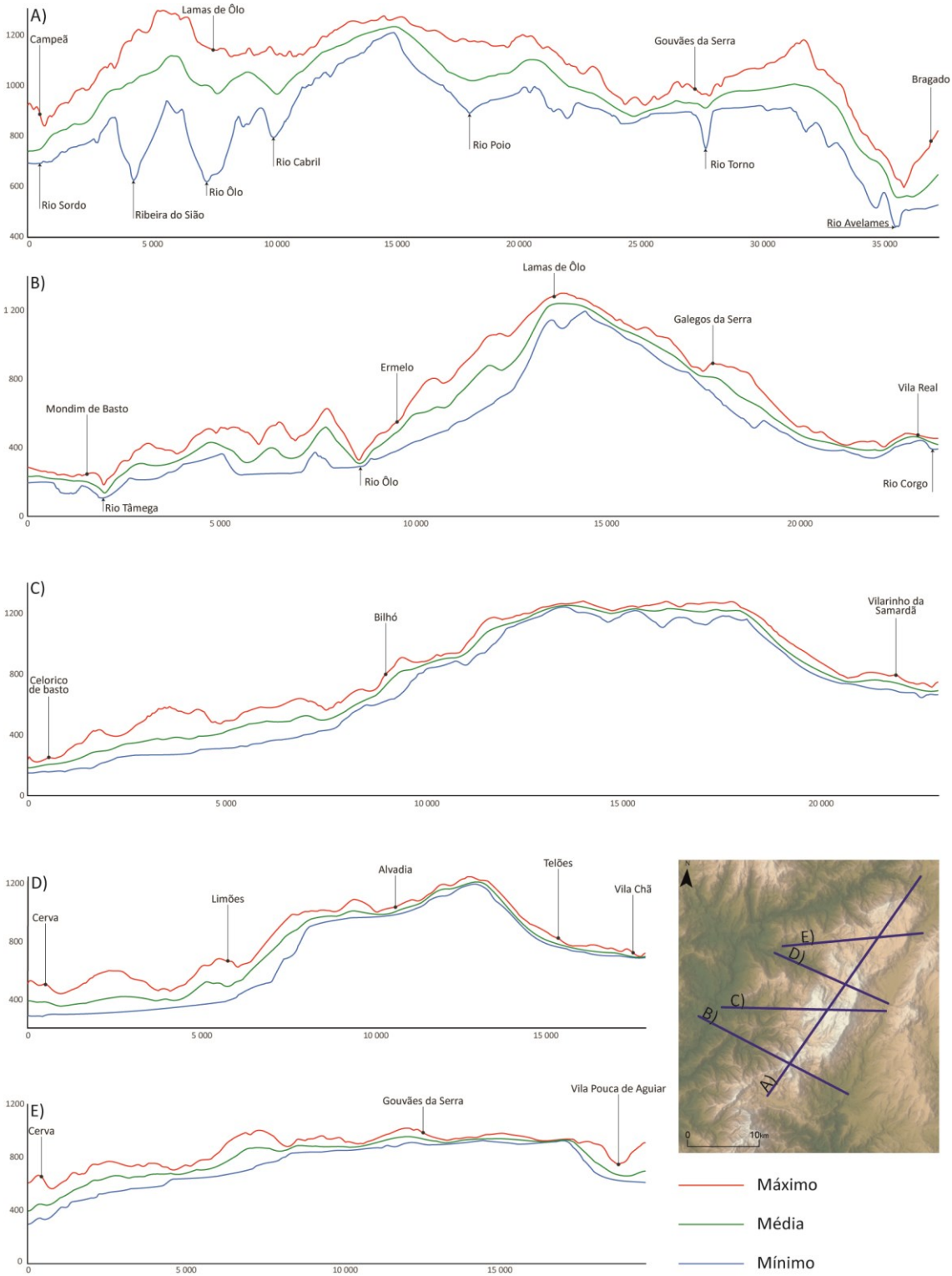

Figura 16 – Swath Profiles da Serra do Alvão. A) Campeã – Bragado. B) Celorico de Basto – Vila Real. C) Mondim de Basto – Vilarinho da Samardã. D) Cerva – Vila Chã. E) Cerva – Vila Pouca de Aguiar.

Por fim, a figura 16E, corresponde ao *Swath Profile* do Rio Torno, entre Cerva e Vila Pouca de Aguiar. Neste setor, a serra não atinge as mesmas altitudes que nos setores a Sul, mas mantêm a característica de apresentar o topo aplanado, desta vez a com o perfil das cotas mais elevadas e médias a pender para Este. O perfil relativo às cotas mais baixas está ligeiramente inclinado para Oeste. Tal como observamos nos perfis anteriores, este perfil no seu setor oriental, também apresenta um segundo nível aplanado a uma altitude de 700 metros. Ambos os níveis de aplanamento estão muito recuados em relação ao mesmo nível nas cotas médias e máximas.

Nas figuras 16C, Figura 16D e Figura 16E é visível que a vertente Oriental da SA não apresenta nenhum segundo nível aplanado, exibindo uma escarpa mais longa, mas com o declive mais suave. Em particular, a figura 16E apresenta um menor desnível entre o topo e a base da serra, uma vez que é neste setor que a serra apresenta altitudes mais baixas e também, é aqui que se encontra o interflúvio entre as bacias de Telões e Pedras Salgadas. Neste setor também se encontra o rio Avelames que corresponde a uma captura fluvial, por parte do rio Tâmega (Feio, 1948), que nasce no topo da Serra e ultrapassa a vertente Este da figura 16E.

3.2. Análise das bacias hidrográficas na área de estudo

A segunda abordagem deste estudo residiu na análise de todas as bacias hidrográficas presentes na SA. O objetivo desta abordagem consistiu em aferir quais as bacias que têm maior probabilidade de conter knickpoints ao longo dos seus cursos de água.

De forma a atingir este objetivo foram calculados seis indicadores para todas as bacias. Os indicadores escolhidos foram a elevação média da bacia, a área total da bacia, o fator de assimetria das bacias, o gradiente médio, o k_{sn} médio e a integral hipsométrica. Os resultados podem ser observados na Tabela 1.

O fator de assimetria da bacia (FAB) analisa a forma das bacias de modo a detetar se existe alguma diferença significativa entre a área à esquerda ou à direita do rio principal da bacia hidrográfica. Este índice é também "capaz de detetar uma possível inclinação tectónica, bem como a propagação em dobra" (Amine, El Ouardi, Zebari, & El Makrini, 2020). É calculado através da seguinte fórmula:

$$AF = 100(\frac{Ar}{At})$$

Ar corresponde à área da bacia à direita do seu curso de água principal e *At* corresponde à área total da bacia de drenagem. O resultado assume valores entre 0 e 100, em que os valores superiores ou inferiores a 50 correspondem a bacias assimétricas. Neste estudo decidimos utilizar o valor absoluto calculado através da fórmula:

$$AF = \left|50 - 100(\frac{Ar}{At})\right|$$

Após a aplicação desta fórmula foram definidas as mesmas quatro classes que foram definidas por Afaf Amine (2020). As bacias que apresentam valores inferiores a 5 correspondem a bacias simétricas, entre 5 e 10 foram consideradas ligeiramente assimétricas, entre 10 e 15 foram classificadas como assimétricas e as que apresentavam valores superiores a 15 foram definidas com muito assimétricas.

O gradiente médio tem como objetivo aferir a inclinação média dos cursos de água na bacia. O k_{sn} médio também tem o propósito de aferir o declive que as bacias apresentam, mas este valor também pondera a área da bacia a montante de cada segmento do rio.

A curva hipsométrica possibilita uma avaliação da evolução geomorfológica das bacias hidrográficas, uma vez que os resultados desta análise permitem-nos entender o período que uma bacia erodiu a sua bacia através da curva hipsométrica que esta apresenta. A curva hipsométrica corresponde a uma "proporção relativa da área da bacia abaixo de um determinada altitude" (Amine et al., 2020).

Curvas hipsométricas convexas correspondem a bacias jovens que ainda não tiveram capacidade de erodir a área da sua bacia. As curvas em formato de S

correspondem a bacias que têm duas fases distintas de maturidade, uma com capacidade de erodir a área a montante, e outra mais recente que ainda não foi capaz de transmitir a onda erosiva a toda a sua bacia. Podem ser relacionadas com alterações do nível de base, com uma captura fluvial ou resultar da presença de um knickpoint permanente que funcione como nível de base local para a bacia a montante deste ponto. Por fim, a bacias que apresentam uma curva hipsométrica côncava correspondem a bacias altamente erodidas que já tiveram tempo para erodir toda a área da sua bacia.

A estrutura tectónica e as diferenças litológicas, entre outros fatores, podem influenciar a curva hipsométrica, uma vez que estes fatores influenciam a resistência de determinadas áreas das bacias à erosão. As curvas hipsométricas das bacias e a integral hipsométrica foram calculadas com a ajuda da extensão TAK (Forte & Whipple, 2019).

Para calcular estes valores foi utilizada a extensão do *MATLAB TAK*, *Topographic Analysis Kit*, criada pelo Adam Forte e Kelin Whipple. Desta forma, para calcular os índices definiram-se os *pour points* de cada bacia existente na SA e exportou-se os pontos criados para o *MATLAB*, de forma a poder executar o código que nos daria os valores necessários.

Depois de utilizar o código inicial para calcular a rede de drenagem, usou-se as ferramentas *ProcessRiverBasins* e *CompileBasinSats* para obter as estatísticas das bacias. O código utilizado foi o seguinte:

```
DEM = GRIDobj ('DEM_DOURO.tif');
FD = FLOWobj (DEMfs,'preprocess','carve');
A = flowacc (FD);
S = STREAMobj (FD,'minarea',120);
ProcessRiverBasins (DEM, FD, A, S,'PourPoints.shp','D:\New Folder\TAK_results);
[T]=CompileBasinStats ('D:\New Folder\TAK_results');
```

Na linha correspondente ao *ProcessRiverBasins* foi adicionada a shapefile com os *pour points* e o endereço em que pretendia guardar os resultados. A última linha corresponde ao *CompileBasinStats* que compila os resultados da linha anterior numa só tabela. Esta tabela foi depois exportada e associada no ArcGIS à bacia correspondente pelo ID do respetivo *pour point*.

Tabela 1 – Índices das bacias

ID		Elevação média	Área (km2)	FAB	K_{sn} médio	Gradiente médio	IH
1	R. Ovelha	530,094	197,726	17,337	159,765	0,237	0,370
2	R. Olo	698,588	134,341	18,718	168,519	0,284	0,509
3	R. Torno	881,247	78,687	0,646	125,056	0,130	0,655
4	R. Poio	858,636	65,948	5,781	179,083	0,207	0,582
5	R. Cabril (T)	639,526	63,609	17,095	144,381	0,229	0,439
6	R. Ovil	613,217	55,078	6,011	145,128	0,191	0,621
7	R. Sordo	800,443	51,579	11,788	129,253	0,213	0,535
8	R. Agilhão	563,820	48,441	3,970	127,670	0,362	0,342
9	R. Teixeira	691,525	43,490	6,284	196,932	0,332	0,477
10		608,393	37,248	8,143	166,988	0,332	0,419
11	R. Cabril (C)	649,256	32,426	18,703	117,273	0,204	0,318
12	Rib. do Arnal	777,718	31,629	15,970	168,442	0,201	0,460
13	Rib. do Zêzere	561,833	22,551	24,816	222,260	0,226	0,575
14	Rib. do Ouro	754,721	13,231	5,140	250,240	0,344	0,631
15		345,857	12,594	21,120	118,887	0,232	0,502
16	Rib. da Samardã	911,457	10,332	19,195	72,358	0,194	0,401
17		555,880	9,051	6,226	223,375	0,227	0,599
18		742,417	8,209	36,139	187,203	0,263	0,531
19	R. Avelames	927,308	7,508	2,805	138,759	0,111	0,564
20		875,462	7,201	25,476	182,055	0,251	0,460
21	Rib. da Mãe de Água	862,834	6,571	14,024	47,230	0,168	0,374
22		416,490	5,306	22,179	191,964	0,252	0,514
23		351,993	5,214	2,636	207,595	0,314	0,468
24		725,199	5,122	11,595	7,715	0,081	0,182
25		783,984	5,066	22,713	193,193	0,270	0,533
26		830,622	4,935	17,165	32,108	0,166	0,314
27		708,377	4,508	2,555	228,398	0,363	0,571
28		323,072	3,767	5,894	181,694	0,204	0,549
29		836,261	3,539	4,388	37,830	0,149	0,315
30		817,187	3,376	5,667	171,056	0,191	0,586
31		757,854	3,188	0,164	145,570	0,158	0,528
32		842,472	3,178	15,974	155,076	0,205	0,412
33		814,836	2,858	21,700	62,846	0,150	0,504
34	Rib. das Gravotas	367,870	2,483	3,005	193,105	0,273	0,613
35		803,674	2,180	10,705	16,087	0,178	0,418
36		847,313	2,104	6,025	113,148	0,146	0,693
37		754,986	2,048	4,796	11,246	0,127	0,301
38		641,685	1,906	5,104	49,388	0,117	0,357
39		326,350	1,869	12,441	228,107	0,278	0,597
40		757,633	1,516	15,077	114,598	0,178	0,462
41		823,164	1,511	1,096	120,431	0,182	0,634
42		749,813	1,507	29,931	38,466	0,217	0,455
43		491,036	1,499	21,502	139,334	0,296	0,481
44		811,536	1,479	12,590	28,668	0,142	0,501
45		675,277	1,383	19,617	129,767	0,168	0,350
46		729,242	1,115	28,412	71,990	0,209	0,447
47		678,221	1,009	5,328	87,877	0,266	0,575
48		754,109	0,986	2,503	17,800	0,156	0,305
49		591,449	0,833	4,464	16,865	0,163	0,348
50		748,467	0,832	33,640	42,332	0,202	0,351
51		610,119	0,823	12,614	268,219	0,245	0,630
52		640,066	0,763	5,850	88,260	0,166	0,559
53		840,174	0,710	10,079	80,800	0,162	0,599
54		799,226	0,635	7,234	66,835	0,183	0,572
55		802,425	0,578	19,608	17,596	0,128	0,467
56		653,325	0,521	14,871	11,790	0,154	0,484
57		706,918	0,331	35,920	16,070	0,190	0,308
58		581,138	0,315	14,484	12,440	0,062	0,373
59		576,061	0,237	21,240	5,158	0,061	0,294
60		780,580	0,135	0,579	0,000	0,212	0,315

Como podemos observar na figura 17, o fator de assimetria das bacias apresenta valores muito significativos nas bacias da SA. Mesmo as bacias com maior dimensão, apresentam formas muito assimétricas, especialmente no setor Sul da serra. Das principais bacias presentes na serra, apenas as bacias dos rios Avelames (19) e Torno (3) apresentam valores abaixo de 5, consideradas assim como simétricas. Os valores das bacias do rio Poio (4) e da ribeira do Ouro (14) correspondem a bacias ligeiramente assimétricas. Estas quatro bacias têm o fator comum de se encontrarem no Norte da SA, e esta tendência de simetria das bacias também se verifica na maioria das pequenas bacias presentes nas vertentes Este da SA. As restantes principais bacias presentes na serra apresentam valores muito assimétricos com a exceção da bacia do rio Sordo (7).

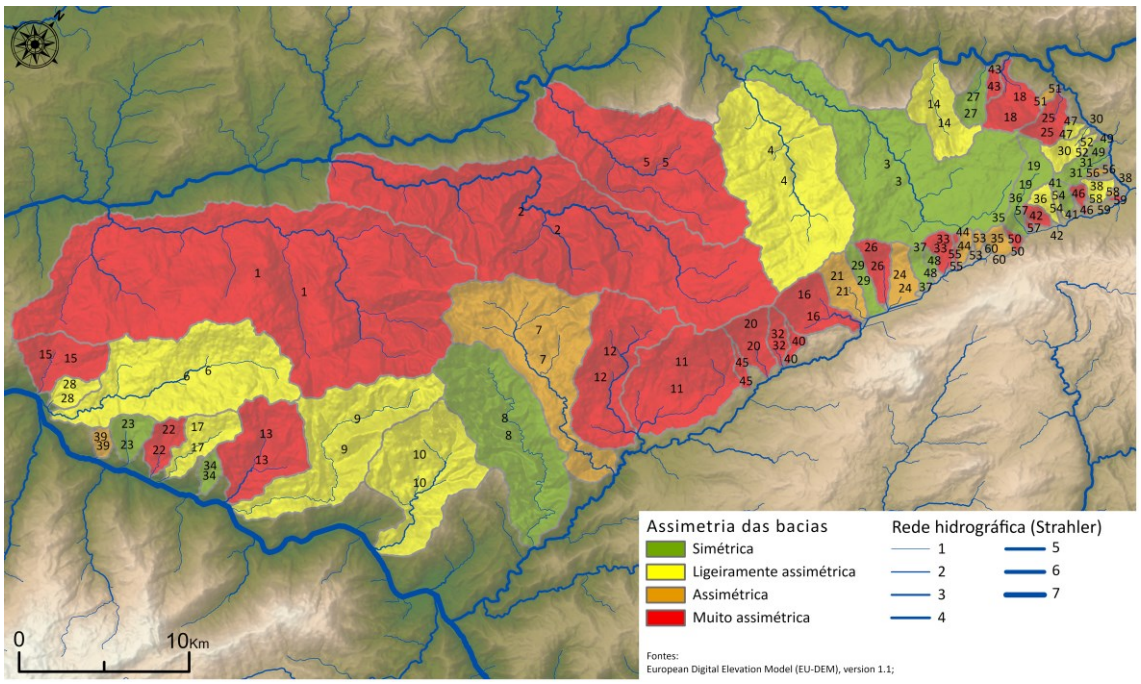

Figura 17 – Assimetria das bacias

Estes valores refletem o ambiente tectónico em que a serra se encontra, em que os rios seguem, muitas vezes, falhas importantes e as suas bacias se estabelecem em compartimentos específicos do maciço. Como a SA, de acordo com (Batista, 1998), corresponde um conjunto de *push-ups (elevações compressivas em desligamento)* e *pull-aparts (bacias de desligamento)*, pode acontecer que estas unidades estejam

basculadas e provoquem que os cursos de água se adaptem à inclinação local do relevo. O basculamento de blocos é fácil de se observar nos *Swath Profiles*, visíveis na figura 16, onde é visível que os blocos correspondentes à bacia do rio Torno (figura 16E) estão inclinados para Leste.

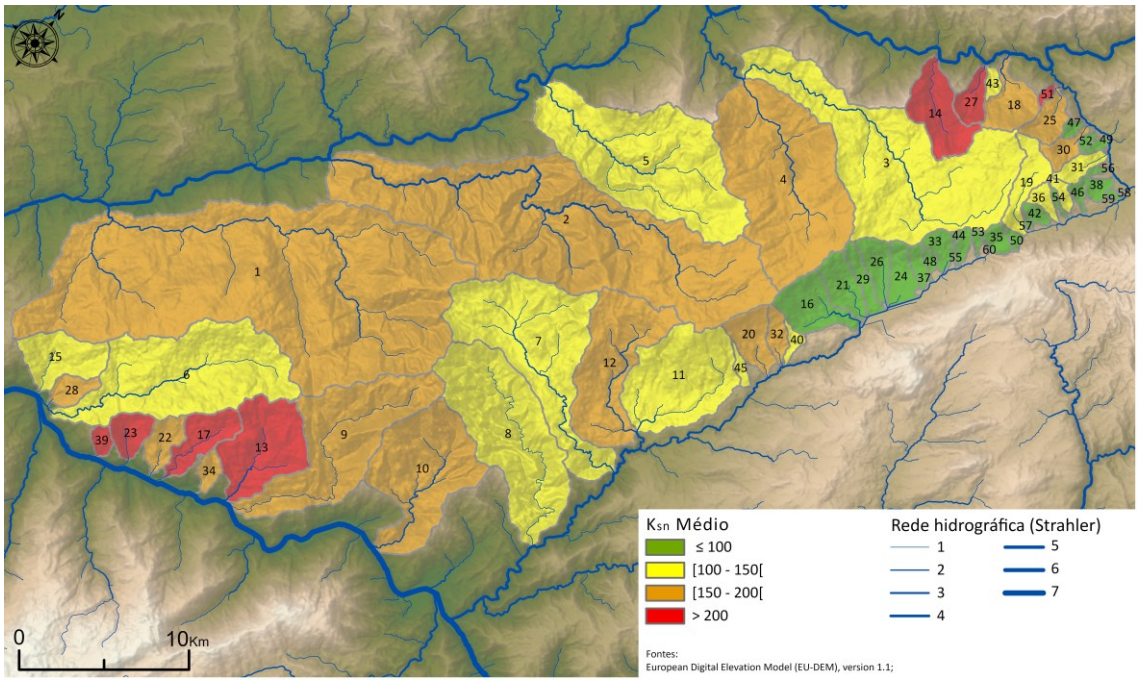

Figura 18 – K_{sn} médio nas bacias da serra do Alvão.

Ao analisarmos os dados do k_{sn} médio (figura 18), constata-se que as bacias que drenam para a bacia de Telões e para a bacia de Pedras Salgadas apresentam valores mais baixos, e desta forma não é espectável encontrar knickpoints ao longos dos rios destas bacias. Aqui, o único rio que se destaca é o rio Avelames, que apresenta um k_{sn} médio de 139, sendo este é o que tem maior probabilidade de apresentar *knickpoints* para esta área. A Sul temos a ribeira do Arnal e o rio Cabril (C), ambos apresentam valores elevados, 168 e 117 respetivamente, e dos dois, a bacia mais provável para se encontrar *knickpoints* é a da ribeira do Arnal.

Na vertente Oriental, a Ribeira do Ouro e a ribeira identificada com o número 27, apresentam valores extremamente altos, o que se pode justificar por dois motivos, a existência de vários *knickpoints* ou que toda a área da bacia apresente um k_{sn} por

estarem ainda longe de atingir o perfil de equilíbrio. Mais a Sul, encontramos as quatro principais bacias da SA, a bacia do rio Torno, do rio Poio, do rio Cabril (T) e do rio Olo. Destas, as que apresentam valores mais elevados são as bacias do Poio e do Olo, que registam valores de 179 e 169 respetivamente. Já o Torno regista um k_{sn} médio de 144 e o Cabril de 125. De acordo estes valores é mais provável encontrar knickpoints nas bacias do Poio de do Olo, porém estes dados de forma isolada, não permitem tirar grandes conclusões uma vez que um rio pode ter um k_{sn} médio elevado pelo resultado de dois fatores, terem valores de k_{sn} altos ao longo de toda a bacia ou terem locais com valores de k_{sn} extremos que façam subir a média.

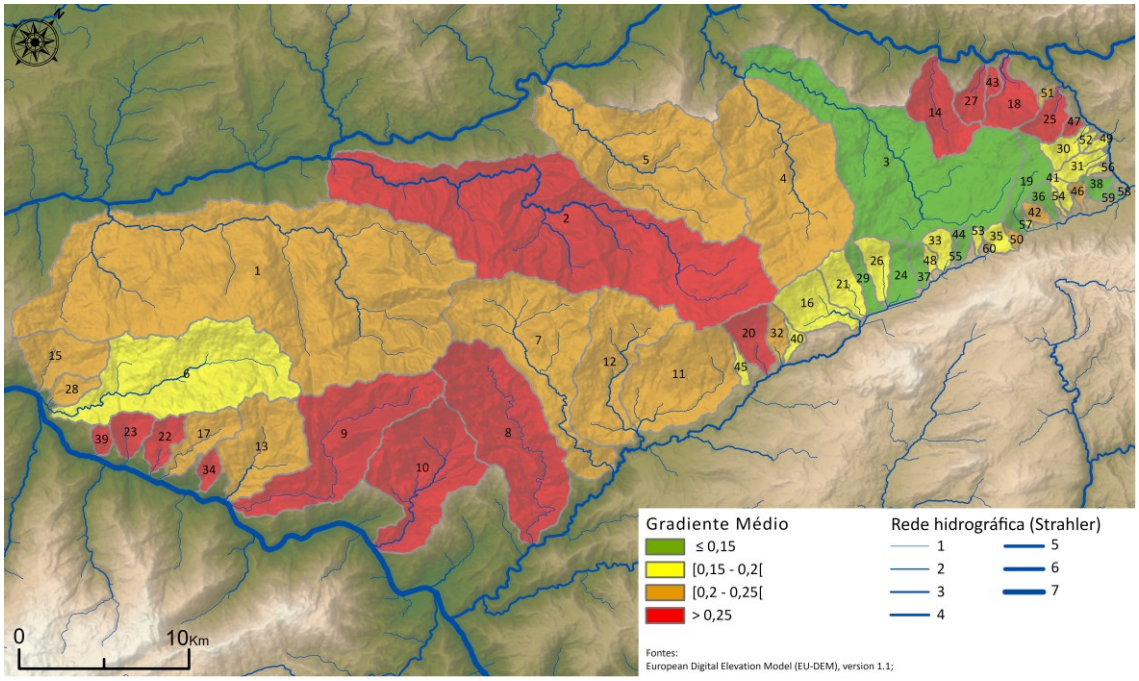

Figura 19 – Gradiente médio nas bacias da serra do Alvão.

Os valores do gradiente (figura 19) complementam o valor do k_{sn}, e permitem compreender os rios que têm maior probabilidade de ter knickpoints ao longo do seu curso. Os valores são semelhantes aos do k_{sn}, porém no caso do gradiente, as bacias do Olo e do Cabril apresentam valores mais elevados do que no k_{sn}.

Tal como foi referido no k_{sn}, estes valores não permitem obter muitas conclusões acerca dos *knickpoints,* mas permitem um enquadramento geral das bacias e aferir em

quais é mais espectável encontrar segmentos de um rio com valores de gradiente muito elevado.

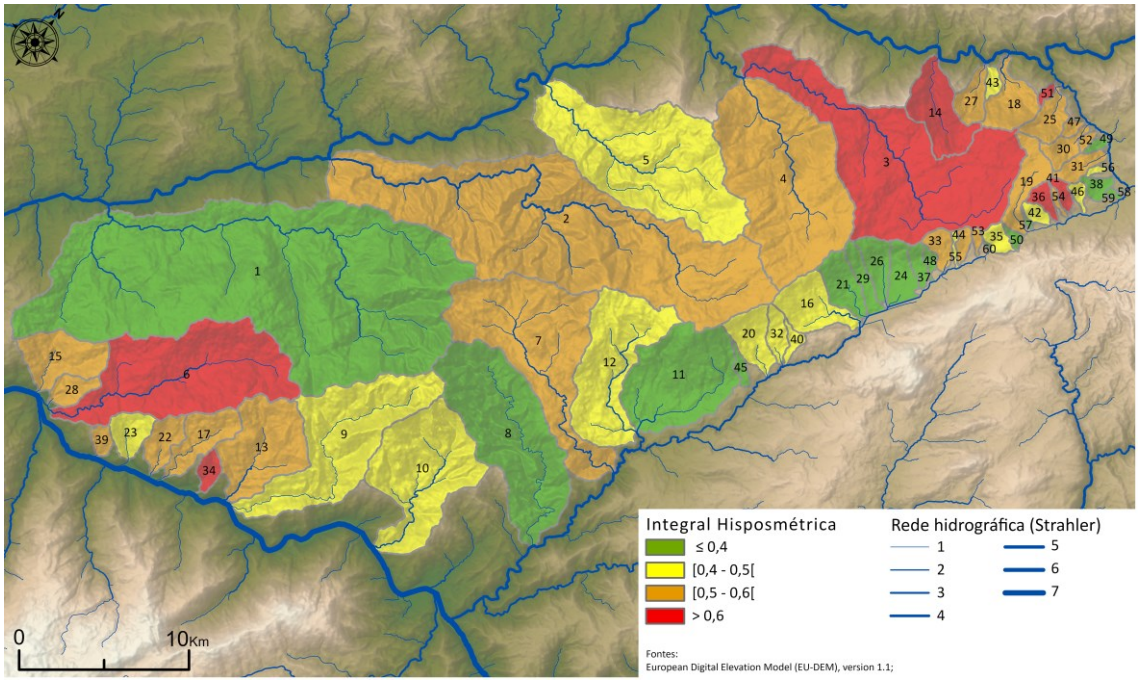

Figura 20 – Integral hipsométrica nas bacias da serra do Alvão.

A figura 20 mostra-nos a integral hipsométrica nas bacias existentes na SA, e através destes valores é possível ver o estado em que se encontram as bacias, em termos da erosão da bacia hidrográfica. As mais "jovens" e com a bacia por erodir vão apresentar os valores mais elevados, enquanto que as bacias mais "maduras" vão corresponder aos valores menores.

Mais uma vez, os valores mais baixos vão corresponder as pequenas bacias que desaguam na bacia de Telões ou na bacia de Pedras Salgadas, enquanto que os principais rios vão apresentar valores mais elevados. Destes, o rio Cabril (T) e a ribeira de Arnal são as que apresentam os mais baixos, enquanto que a bacia da ribeira do Ouro e do rio Torno apresentam os valores mais elevados.

3.3. Análise dos cursos de água

A última abordagem nesta análise da rede hidrográfica da SA correspondeu à análise individual dos cursos de água. Para tal, foram investigados três parâmetros que nos dariam uma ideia da localização dos knickpoints ao longo dos cursos de água, e permitem-nos também abordar outros aspetos da rede de drenagem, como por exemplo, a capacidade que cada rio tem de fazer recuar as cabeceiras e expandir a sua bacia.

De forma a atingir estes objetivos foram investigados três parâmetros em que se pretendia analisar: dois índices de declividade, o k_{sn} e o χ; e o perfil longitudinal dos rios que pelos resultados das abordagens anteriores tinham uma maior probabilidade de registar *knickpoints* significativos.

Os primeiros parâmetros calculados foram os índices de declividade, e os resultados foram obtidos através do software *MatLab*, com recurso à extensão TAK. Para tal, no código, calculou-se os valores iniciais do *flow direction* e *flow accumulation* que permitiram gerar a rede de drenagem para toda a bacia do Douro. De seguida, recorrendo à ferramenta *ksnchiBatch,* calculou-se os índices de declividade para toda a bacia. Ambos os índices foram calculados com um índice de concavidade de referência de 0.45.

De seguida, estes resultados foram exportados em formato shapefile e adicionados ao Arcgis, de forma a proceder à sua análise.

3.3.1. Índice de Declividade Normalizado

Como podemos observar na figura 21, os resultados do k_{sn} mostram a localização das principais *knickzones* ao longo dos cursos de água, i.e., segmentos curtos em que ocorre uma variação rápida nos valores de k_{sn}. Como era expectável, depois da

análise da hipsometria e declives da área de estudo, estas situam-se principalmente nas passagens do topo da serra para o segundo patamar na vertente oeste, e do segundo patamar para o nível mais baixo antes de os cursos de água desaguarem no rio Tâmega. A Oriente existe menos *knickzones*, mas também é possível identificar as espectáveis *knickzones* da ribeira do Arnal e do rio Avelames.

Para além destas, é também possível identificar outras *knickzones* de menor dimensão ao longo do topo aplanado da serra e alguns ao longo dos vales sobre rochas metamórficas, dos rios afluentes do rio Olo no Sul da serra.

Os valores do k_{sn} foram classificados em seis classes, uma correspondente aos valores inferiores a 100, outra aos valores entre 100 e 200 e assim respetivamente até atingirmos os valores mais elevados, superiores a 500. Quanto maior for o valor mais significativa será a *knickzone*.

A primeira análise aos resultados permite ver a sua capacidade para destacar as principais *knickzones* conhecidas na área, a *knickzone* das Fisgas de Ermelo e as *knickzones* das quedas de água do rio Poio. Também fora da SA mostrou-se capaz de destacar as conhecidas quedas de água de Vila Real ao longo do rio Corgo. Para além destas *knickzones* que já eram conhecidas, foi também possível identificar outras áreas com *knickzones* significativas, as impressionantes quedas de água de Galegos da Serra ao longo da ribeira do Arnal, as magnificas Cascatas de Bilhó ao longo do Rio Cabril (Tâmega), as *knickzones* a norte das Fisgas de Ermelo na passagem do segundo patamar para o topo da serra, a *knickzone* a montante das cascatas de Bilhó também na passagem do segundo patamar para o topo da serra, uma *knickzone* ao longo do rio Torno a jusante de Santa Marta da Montanha e as quedas de água do rio Avelames, montante de Vila Pouca de Aguiar.

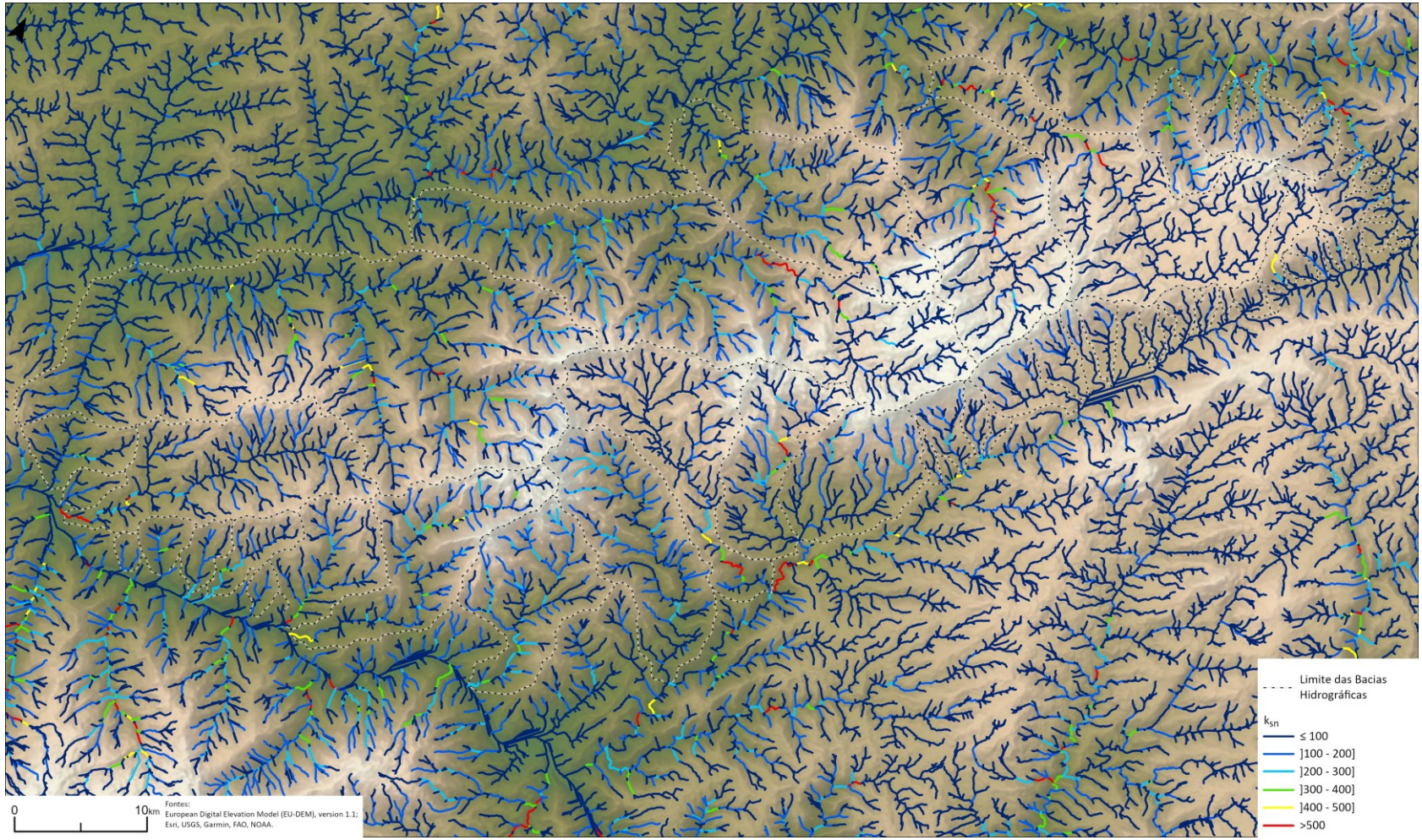

Figura 21 – k_{sn}: índice de declividade normalizado.

Ao longo das saídas de campo foi possível verificar e validar alguns destes resultados, em que observamos de perto as Cascatas de Bilhó e de Galegos da Serra, e a *knickzone* a montante das Cascatas de Bilhó. Na figura 22 é possível observar algumas fotografias destas *knickzones* magníficas em termos paisagísticos.

Figura 22 – Fotografias de algumas knickzones verificadas no Campo: A/B/E) Cascatas de Galegos da Serra; C) Cascatas de Bilhó; D) Fisgas de Ermelo; F) Quedas de água na ribeira do Sião.

As áreas em que não foi possível verificar em campo, foram validadas através de imagens de satélite fornecidas pelo Google Earth, o que permitiu confirmar a sua existência e imponência (figura 23).

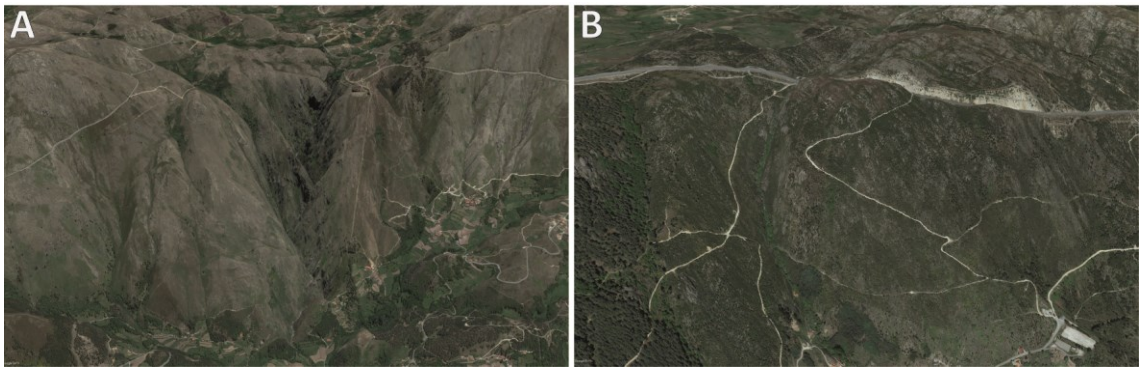

Figura 23 – Imagens de knickzones observadas através do Google Earth: A) Quedas do rio Poio; B) Quedas do rio Avelames.

Para além destas imponentes *knickzones* foi também possível, através da análise dos dados do k_{sn}, verificar a existência de algumas *knickzones* menos significativas, mas que poderiam também dar origem a *knickpoints* significativos. Aqui, foi possível identificar alguns *knickpoints* ao longo dos afluentes do Rio Olo, quer no topo da serra como nos afluentes a sul das Fisgas de Ermelo. A montante das quedas de água do rio Poio também foi possível verificar algumas *knickzones*, bem como a montante de Galegos da Serra junto à aldeia do Arnal.

Estes valores também foram validados através das saídas de campo e das imagens de Google Earth. Estas *knickzones,* apesar de serem menos extensas que as mais conhecidas, em alguns casos originam saltos imponentes que rivalizam com algumas das *knickzones* principais.

3.3.2. Índice de declividade do Canal (χ)

Após a análise dos dados do k_{sn}, iniciou-se a análise dos resultados do χ. Estes valores não permitem identificar knickzones, mas em contrapartida, permitem estimar a capacidade erosiva dos cursos de água, e através dos valores prever como vão interactuam os divisores entre as bacias, identificando estados de equilíbrio, rios vítimas ou agressores (figura 24), , e no seguimento destes valores apontar possiveis capturas fluviais futuras.

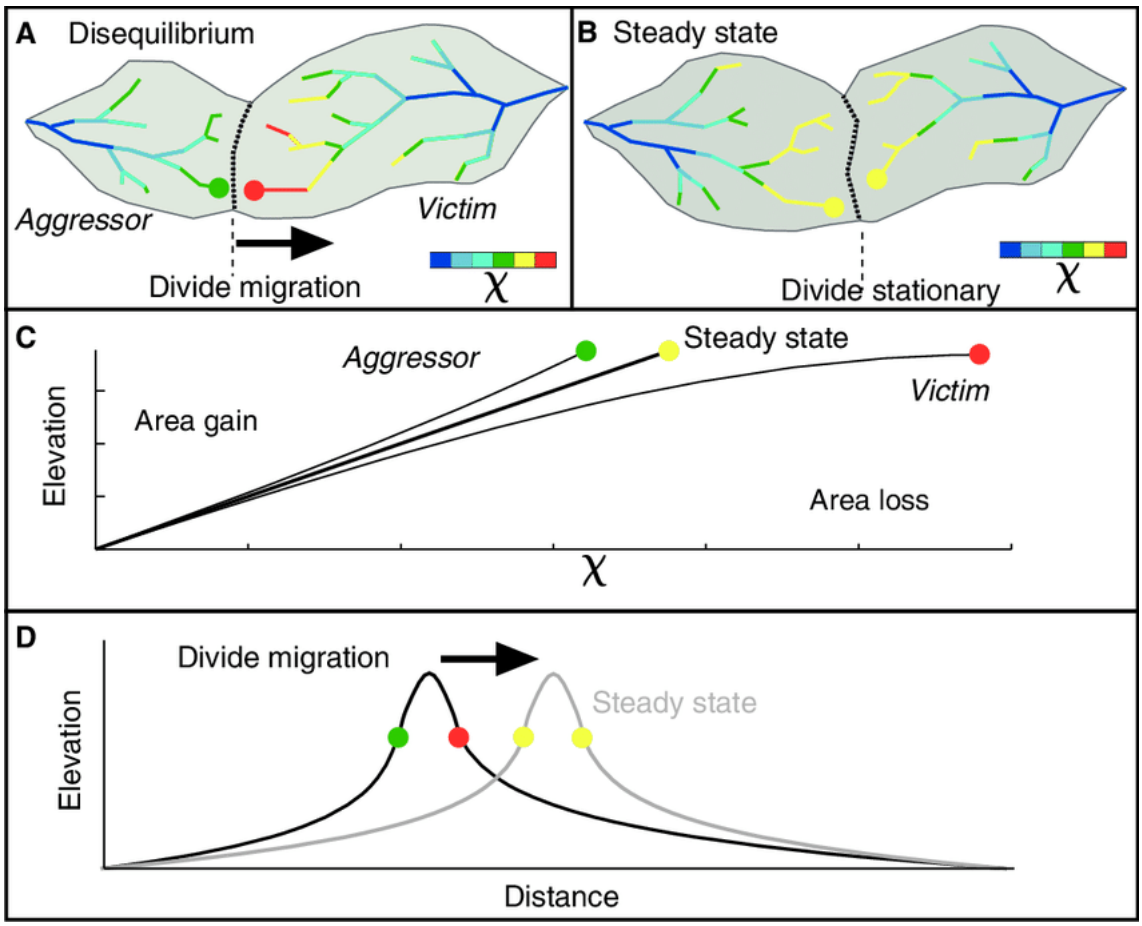

Figura 24 – O χ e a sua relação com a migração dos divisores.

Com estes valores é possivel estimar o recuo de divisores, quer entre as bacias principais, quer entre cursos de água da mesma bacia. Permite também verificar os divisores que já atingiram o equilíbrio e se estes se vão manter na mesma posição ou migrar (figura 24).

De acordo com os resultados visíveis na figura 26, as bacias principais da área de estudo estão em equilíbrio na maioria dos divisores. A Sul, no substrato metamórfico é possível

verificar que os seus divisores principais e secundários já atingiram o equilíbrio, o que é espectável devido face à menor resistencia litológica que esta área apresenta, especilamente nas áreas compostas por xistos (figura 25).

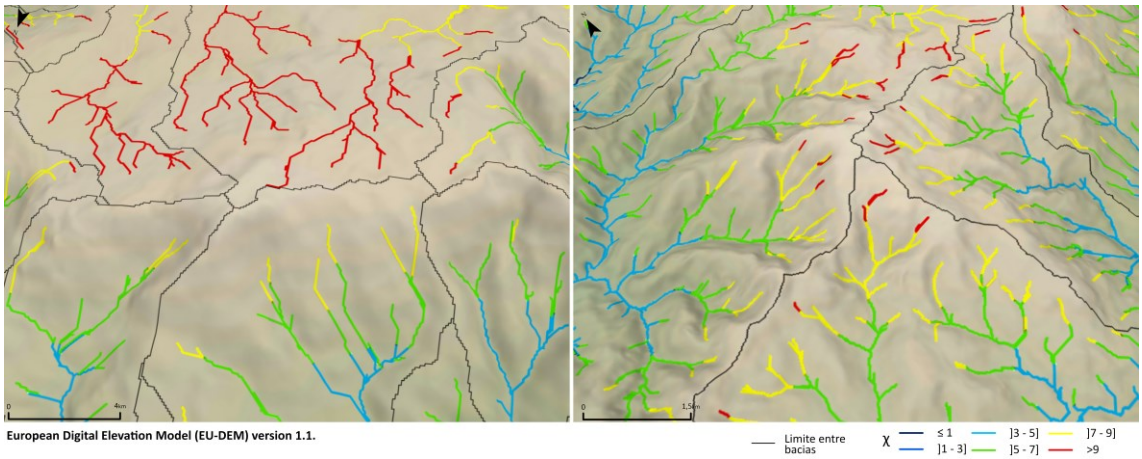

Figura 25 - Situação do chi escarpa Norte em Gouvães da Serra (A) e entre o a bacia do rio Olo e a bacia da Campeã (B).

Nas áreas compostas por granitos, a situação já não é a mesma, onde é possivell verificar que em alguns casos, os divisores não estão em equilibrio. No caso da bacia do rio Olo é possivel verificar que esta ainda não atingiu equilíbro em relação à bacia da ribeira do Arnal, ao Rio Cabril (Corgo) e aos restantes afluentes do rio Corgo. Desta forma, é espectavel que os últimos mencionados tenham uma maior capacidade de migrar (empurrar) o divisor e ganhar mais área para a sua bacia.

O rio Poio já atingiu o equilibrio com as bacias vizinhas do rio Olo e do rio Cabril (Tâmega), mas ainda está mais agressivo em relação ao rio Torno, em alguns pontos do divisor que partilham. Desta forma é espectável que este aumente a área da sua bacia na parte Este deste divisor.

O rio Torno, apesar de já ter atingido o equilibrio na região mais próxima da sua foz, no topo da serra está a perder área de bacia para a Ribeira do Ouro, que é muito mais agressiva que os cursos de água do rio Torno. A mesma situação acontece na área mais a norte da sua bacia que perde área para os afluentes do rio Tâmega e Avelames. Na parte Oriental da sua bacia, no divisor entre o rio Torno e a bacia de Telões, a situação já está muito próxima do equilibrio, com o rio Torno a conseguir ser mais agressivo em alguns casos.

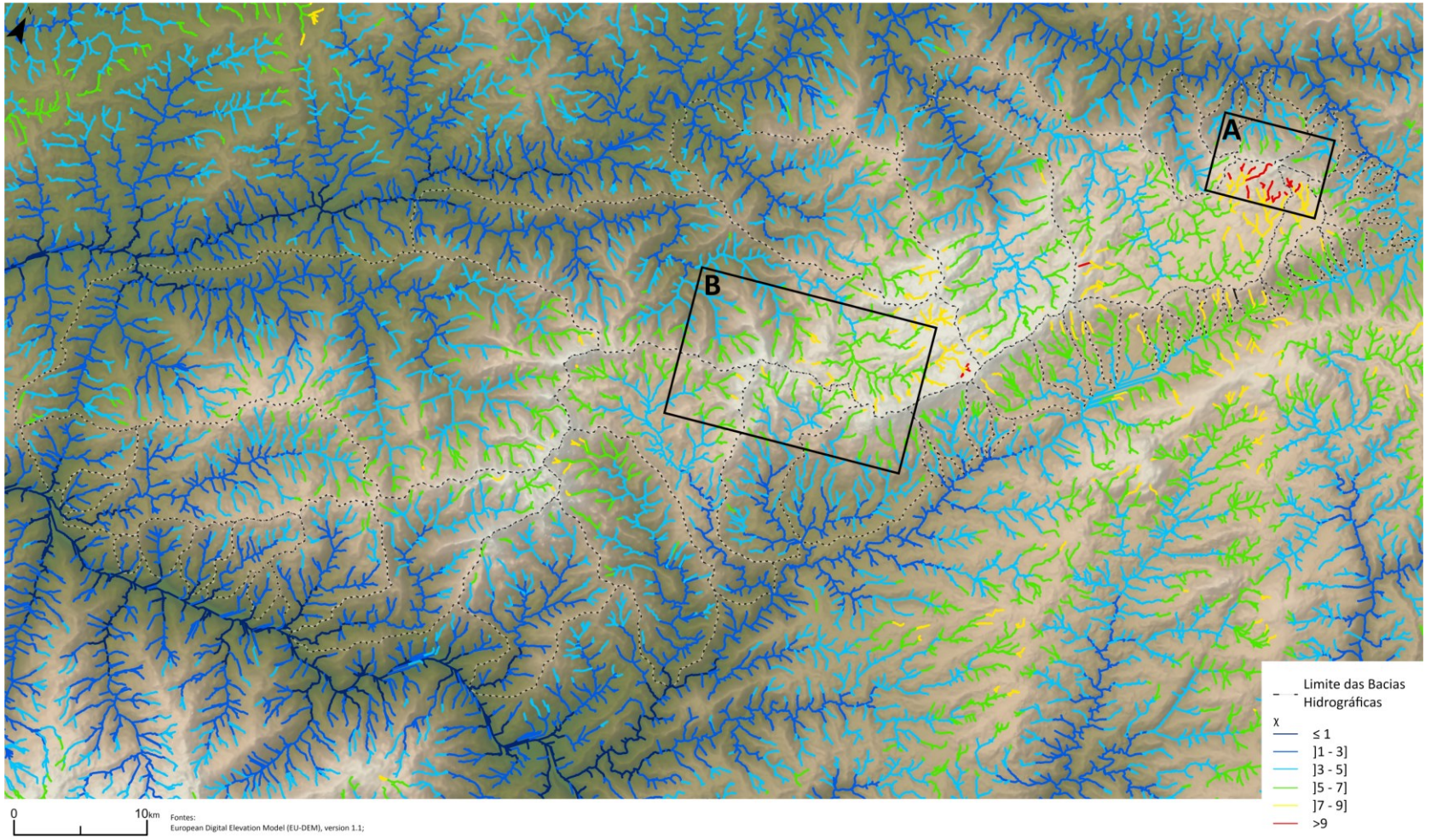

Figura 26 – Mapa do χ para a serra do Alvão.

3.3.3. Perfis Longitudinais

A última fase desta abordagem passa pela técnica clássica de analisar os cursos de água de forma a identificar os seus knickpoints através da análise do perfil longitudinal (Teixeira, Cunha, Martins, & Gomes, 2013). Esta metodologia será aplicada apenas para alguns rios que, de acordo com as abordagens anteriores mostraram ter várias *knickzones*. Ou seja, nesta análise da rede hidrográfica vamos examinar os perfis dos rios Olo, Cabril, Poio e Torno. Também as ribeiras do Arnal, de Fervença, de Pardelhas, juntamente com alguns afluentes do topo da SA que, de acordo com os resultados do K_{sn}, têm *knickzones*.

O objetivo desta abordagem é validar, mais uma vez, os resultados obtidos através do Índice de Declividade Normalizado.

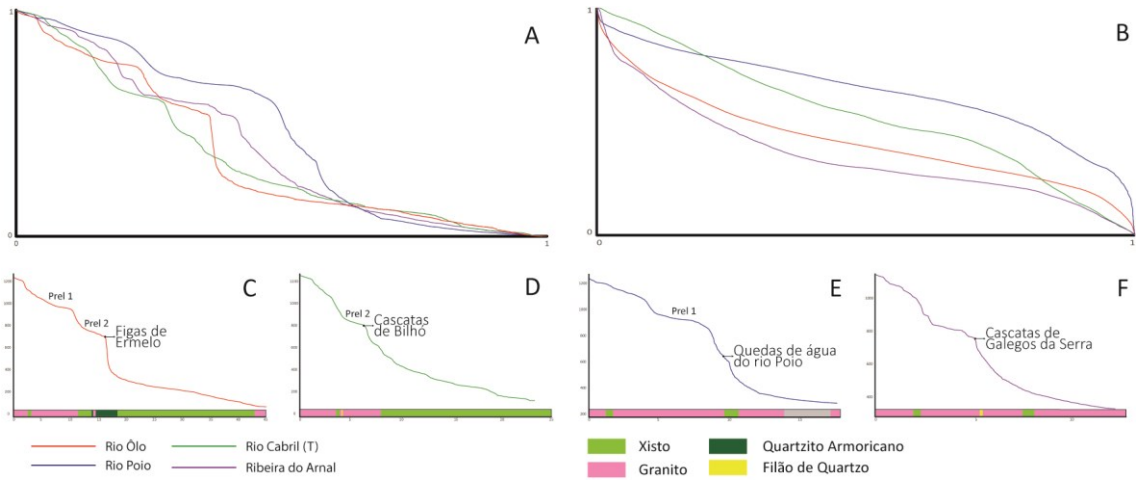

Figura 27 – Perfis longitudinais dos rios Olo (C), Cabril (Tâmega) (D), Poio (E) e da Ribeira do Arnal (F); A) perfis normalizados. B) Curva hipsométrica das bacias correspondentes; C a F - perfis individuais e respetiva litologia do leito.

Na figura 27, observamos os perfis longitudinais dos rios Olo, Cabril, Poio e Torno, sendo possível observar um total de 8 *knickzones* principais, o que coincide com os resultados do k_{sn}.

No rio Olo regista-se a presença de duas *knickzones* principais, uma relativa às Fisgas de Ermelo e outra relativa à passagem do topo da serra para o segundo patamar. É possível também constatar que o rio parece revelar três perfis próximos do equilíbrio. O primeiro situa-se no topo da serra, o segundo inicia-se com a segunda *knickzone* principal a uma

altitude de 950 metros e estende-se até às Fisgas de Ermelo. O terceiro tem início nas Fisgas de Ermelo, aos 750 metros, e progride até à foz do rio Olo no rio Tâmega. A presença destes perfis mostra a capacidade que estas *knickzones* têm de funcionar como nível de base local, fazendo com que o perfil do rio Olo se desenvolva de forma diferente nestes três segmentos.

No rio Cabril (Tâmega), a situação é idêntica à do rio Olo, e neste caso também podemos dividir este perfil em três partes. A primeira até à *knickzone* do Pioledo, onde se encontram as Cascatas de Bilhó, formando um perfil próximo do equilíbrio com quatro *knickpoints* de menor dimensão situadas ao longo do perfil. O segundo perfil inicia-se após a *knickzone* que separa o topo da serra do segundo patamar e prolonga-se até às cascatas de Bilhó, mais uma vez forma um perfil muito próximo do equilíbrio, de menor dimensão, mas que neste caso, não apresenta *knickpoints* de menor dimensão. Este facto parece evidenciar o papel que a *knickzone* de Pioledo tem ao bloquear as vagas erosivas regressivas. No caso deste rio, no topo da serra, apresenta um perfil convexo longe do equilíbrio.

O rio Poio apresenta uma situação ligeiramente diferente das anteriores, neste caso, apesar do perfil longitudinal aparentar ser semelhante ao do Cabril e Olo. Este tem apenas uma *knickzone principal* deste o topo da serra até ao nível mais baixo bacia, quando se junta ao rio Torno dando origem ao rio Louredo. Este pormenor vai contra a tendência vista nos dois últimos rios em que existiam duas *knickzones* e um patamar intermédio plano. A inexistência do patamar aplanado intermédio pode se dever à presença do substrato composto pela Formação de Pardelhas com xistos ardosíferos e xistos carbonosos. Por outras palavras, neste local deveria, tal como nos anteriores, existir duas *knickzones*. No entanto, devido à litologia, a segunda *knickzone* foi recuando até se juntar à primeira, formando apenas uma *knickzone* que atualmente corresponde às quedas de água do rio Poio.

Por fim, a ribeira do Arnal apresenta um perfil longitudinal semelhante ao dos anteriores, com este a formar um perfil perto do equilíbrio após as Cascatas de Galegos da

Serra, e outro perfil também perto do equilíbrio, entre o ponto em que o rio começa a descer a escarpa da SA até às Cascatas que funcionam como nível de base local.

3.4. Knickzones na serra do Alvão

As três abordagens anteriores, ao longo de todas as bacias que pertencem à SA, permitiram identificar 16 *knickzones* principais e 39 *knickzones* secundárias (figura 28).

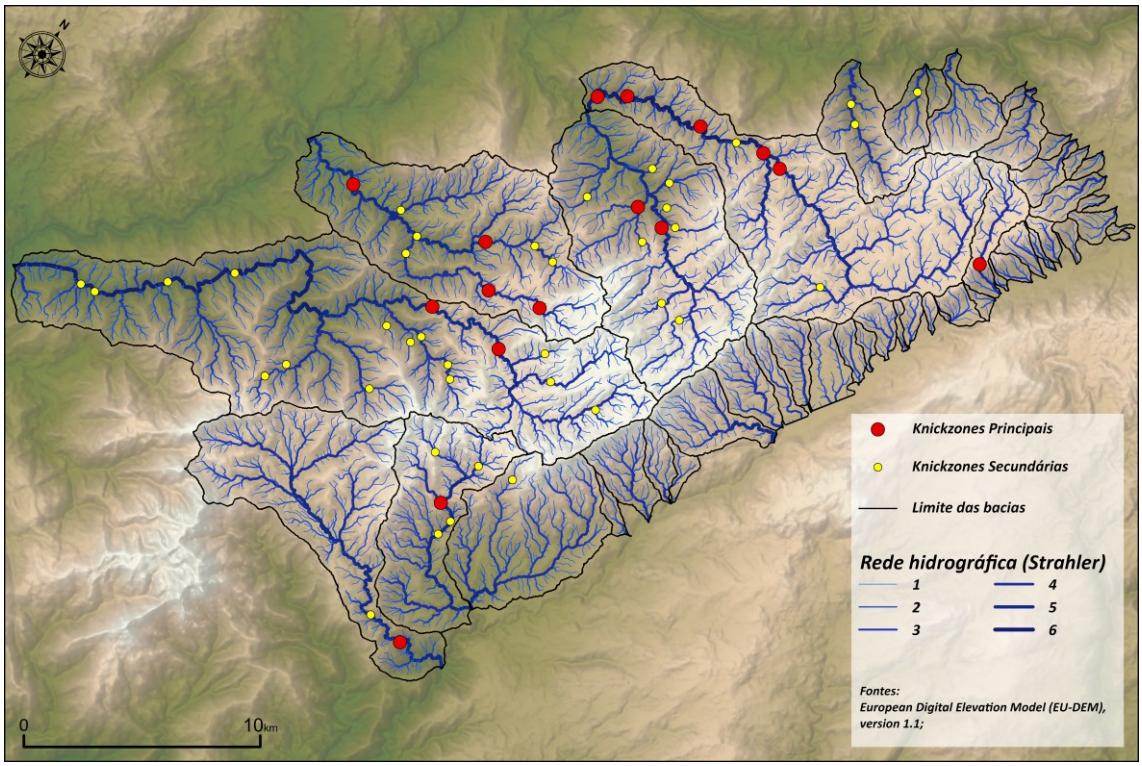

Figura 28 – Knickzones encontradas na Serra do Alvão.

As *knickzones* principais correspondem a setores em que a diferença de altitude entre o seu início e o fim apresenta um valor superior a 50 metros. Enquanto que as *knickzones* secundárias corresponde a diferenças de altitude inferiores a 50 metros.

Ao observar a figura 28, podemos comprovar que os principais *knickpoints* encontram-se em duas áreas distintas da serra. Na vertente Ocidental, entre a bacia do rio Torno e a bacia do rio Olo e na parte Sudeste da serra na bacia da ribeira de Arnal. O rio Avelames tem uma *knickzone* isolada no Nordeste da serra que corresponde à captura fluvial de um curso de água proveniente do topo da serra, ou à antiga drenagem

que escorria para a bacia Telões, numa fase em que ela seria endorreica. A bacia do rio Sordo também apresenta um knickzone principal isolada, após a passagem da depressão da Campeã. Esta deve-se principalmente à diferença de resistência da litologia, dado que um filão/elevação de aplitos limita a bacia da campeã a jusante. O filão, atuando como rocha mais resistente, serve de barreira à progressão da onda erosiva remontante e como nível de base local para a bacia da Campeã.

Ao longo da bacia do rio Olo é possível verificar que existem muitas *knickzones* secundárias, que correspondem na sua maioria, a diferenças da resistência da litologia devido a presença de afloramentos quartzíticos.

3.5. Capturas

Com esta análise foi também possível verificar a ocorrência de algumas capturas fluviais ao longo da SA. Assim, foram identificadas quatro capturas fluviais que não tinham sido mencionadas anteriormente na bibliografia acerca da área de estudo (Pedrosa, 1993), duas entre bacias principais da serra e outras duas entre afluentes da mesma bacia hidrográfica.

Na figura 29, podemos ver a captura da ribeira do Cabouco, afluente do rio Torno, que fluía anteriormente para a bacia de Telões. Esta ribeira apresenta um cotovelo de captura muito pronunciado e na sequência deste cotovelo surge um vale seco no divisor entre a bacia desta ribeira e a bacia de Telões. Os divisores também evidenciam a captura, uma vez que são muito baixos; entre o fundo do vale da ribeira e o topo do divisor apenas existe uma diferença altimétrica de 50 metros, diferença que diminuí quando se compara com o fundo do vale seco, que se encontra apenas 20 metros acima do atual leito da ribeira.

Esta captura também é evidenciada pelo *Swath Profile* da área (figura 16E) que mostra que a drenagem no planalto de Gouvães verte para Oeste, para a bacia do Tâmega, enquanto que os valores máximos e médios mostram-nos que o relevo está

inclinado para Este, para a bacia de Telões e, consequentemente, para a bacia do rio Corgo. Esta captura também está de acordo com os valores do χ, os quais mostram que junto ao divisor, o rio Torno está ligeiramente mais agressivo que os afluentes do rio Corgo.

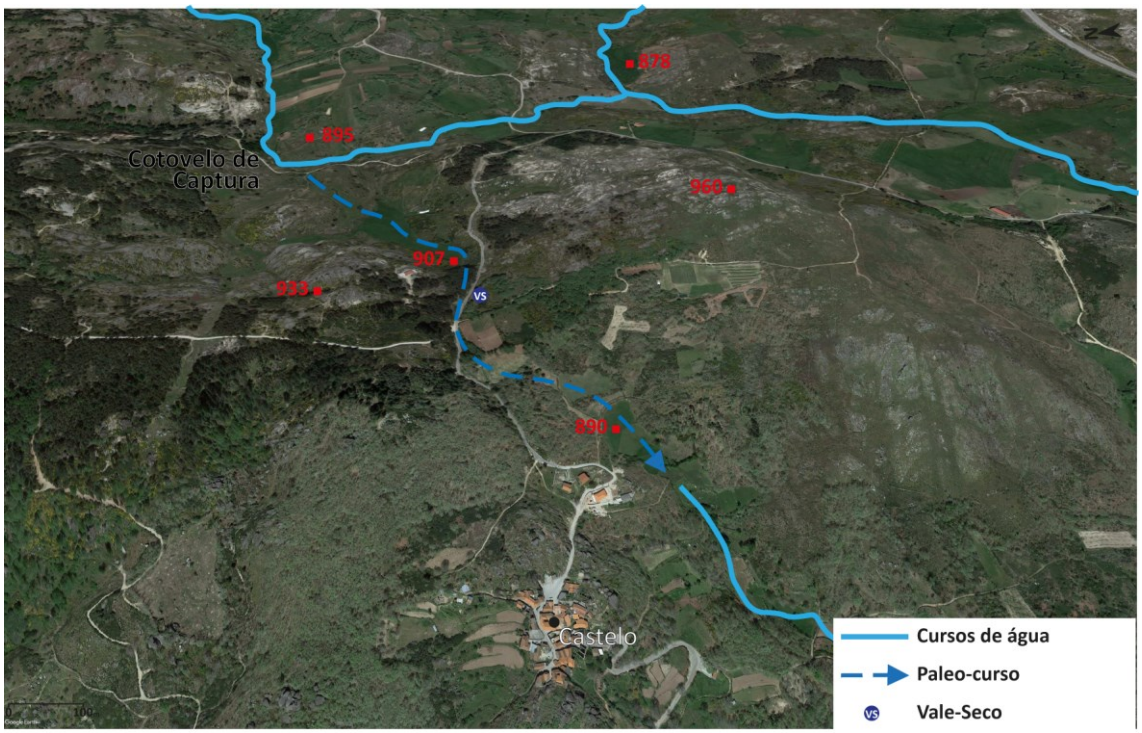

Figura 29 – Captura fluvial da ribeira do Cabouco (afluente do rio Torno).

Na bacia do rio Poio foi possível verificar uma captura fluvial entre duas ribeiras, perto da aldeia de Alvadia (figura 30). Esta captura apresenta um cotovelo de captura pronunciado e o vale seco. Os divisores na área da captura são muito baixos e a diferença de altitude entre os dois rios é de apenas 16 metros. O rio que capturou progrediu ao longo de uma falha, o que pode ter facilitado esta captura. Na figura 30B e 30C apresentamos duas imagens da falha que atualmente corresponde a uma *knickzone* significativa. Especialmente por estar no topo da Serra, local onde não se encontram as principais quedas de água da área de estudo.

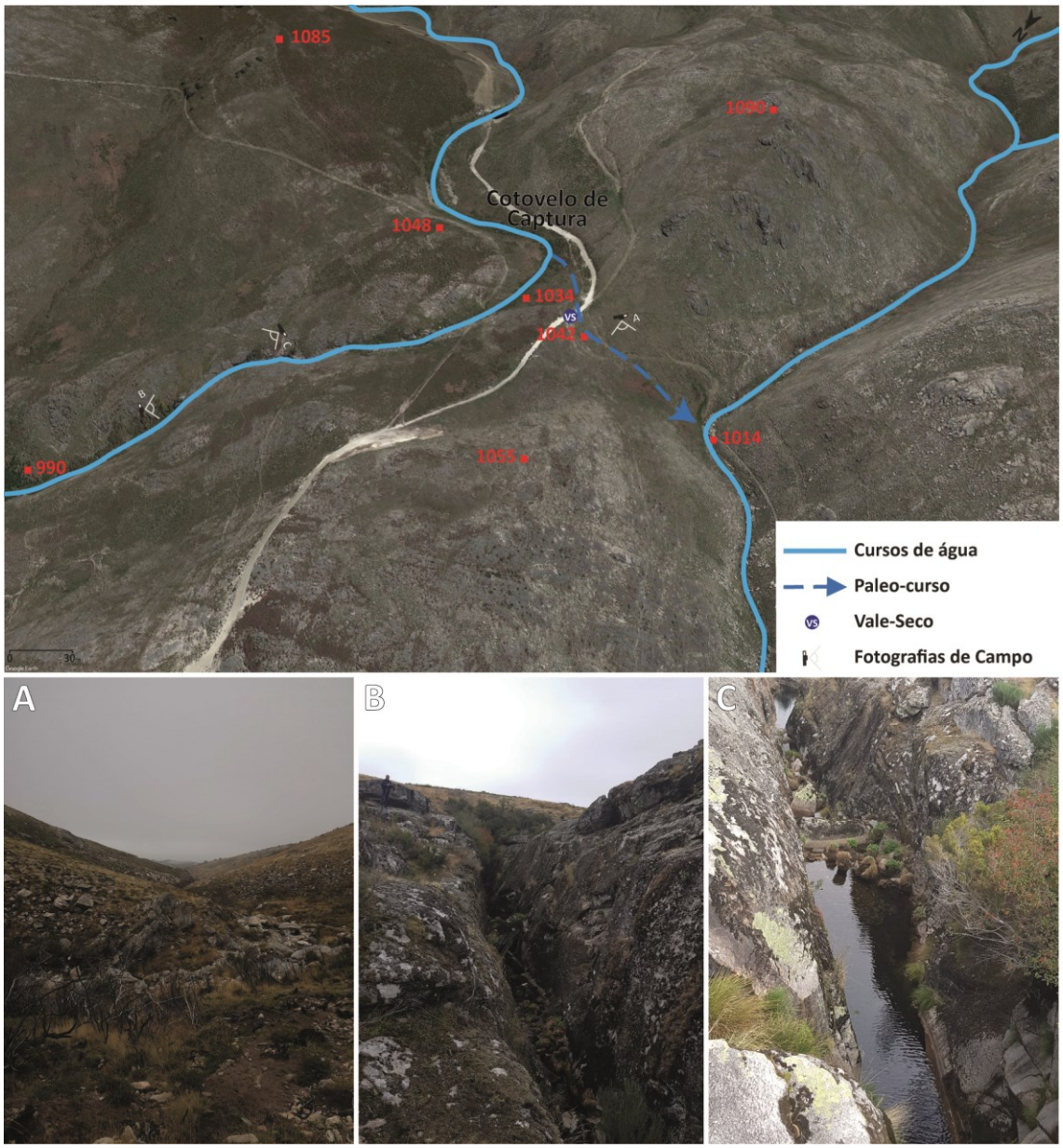

Figura 30 – Captura Fluvial entre afluentes do rio Poio, em Alvadia. A) Fotografia do Vale da ribeira capturada. B) Fotografia da knickzone após a captura, ponto de vista para montante. C) Fotografia da knickzone após a captura, ponto de vista para jusante.

Na figura 31 vemos a captura do Pioledo correspondente ao rio Cabrão, afluente do rio Cabril, que anteriormente fluía pelo vale largo onde atualmente se encontram os principais campos agrícolas da aldeia do Pioledo. Atualmente, o curso de água precipita-se por uma ingreme vertente granítica dando origem às cascatas de Bilhó.

Esta captura é evidencia-se pela presença de dois vales secos que devem corresponder a duas fases anteriores à captura mais recente. O vale seco muito bem definido visível na figura 31, corresponde ao curso mais antigo do rio. A principal evidência desta captura é o vale extremamente largo em relação ao tamanho da bacia de drenagem da pequena ribeira afluente do rio Cabril (T). Ao longo desta ribeira situam-se os campos agrícolas da aldeia do Pioledo.

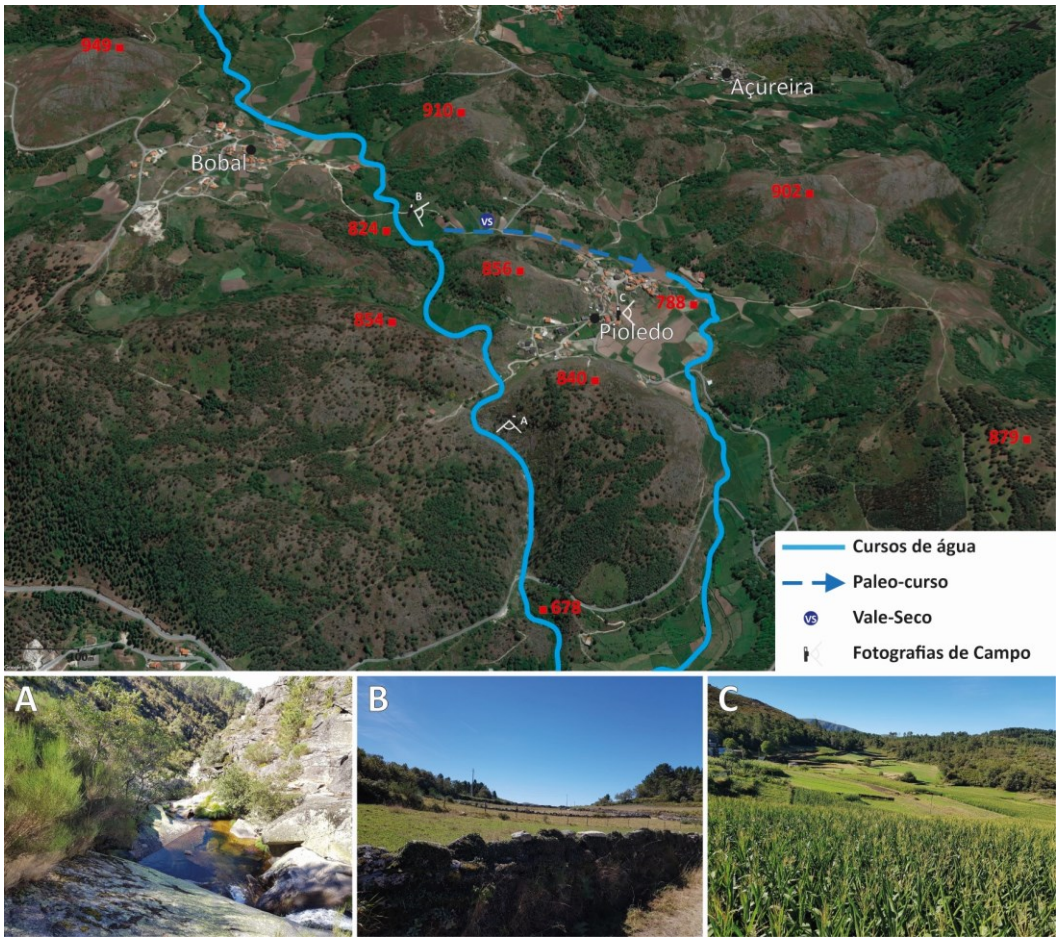

Figura 31 - Captura fluvial do Rio Cabril, Pioledo.

Por fim, temos na figura 32 a captura fluvial entre a ribeira do Arnal e um afluente do rio Olo, situada a montante da aldeia do Arnal. Aqui, é possível identificar o cotovelo de captura e o vale seco com divisores muito baixos. Esta captura vai de acordo com os valores do χ que mostram que neste divisor, a ribeira do Arnal tem maior poder erosivo em relação à bacia do

rio Olo, pelo que é natural que esta consiga fazer recuar o divisor entre as duas bacias e que consiga capturar alguns cursos de água que anteriormente fluíam para o rio Olo.

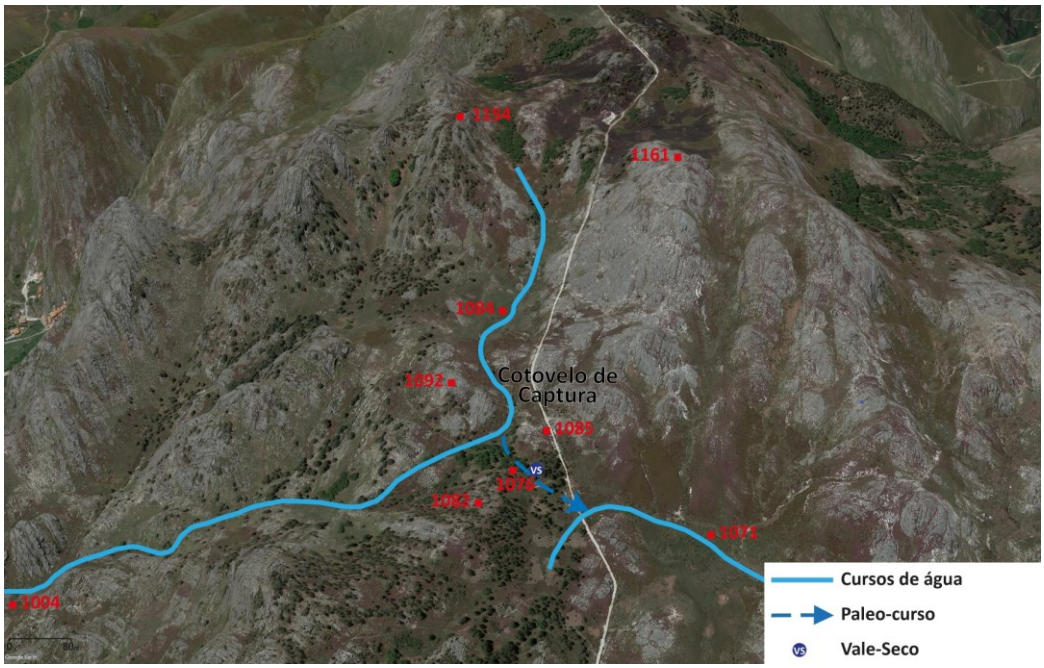

Figura 32 - Captura fluvial entre a ribeira do Arnal e a bacia do rio Olo.

Para além destas capturas, é importante recordar uma captura fluvial que mencionada por António Pedrosa (figura 33). Na sua tese de Doutoramento, mostra-nos uma captura que está neste momento a acontecer na Ribeira de Chão Rosso, a montante de Pardelhas. De acordo com o autor, é importante acompanhar o desenvolvimento desta captura, pelo que durante as saídas de campo fomos ao local e podemos observar o seu estado atual, constatando que a captura continuou a progrediu, mas ainda não foi capaz de capturar a ribeira principal.

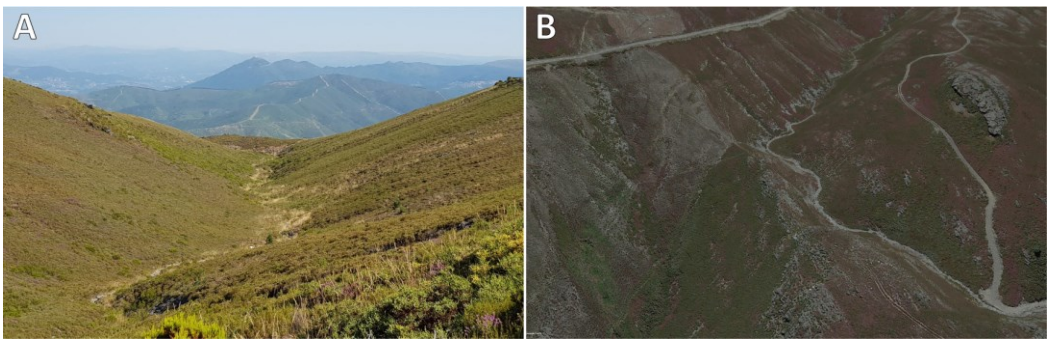

Figura 33 – Imagens da Captura de Chão Rosso. A) Fotografia de campo do vale da ribeira que está atualmente a ser capturada. B) Imagem do Google Earth da captura.

3.6. Paisagens Relíquia

Através da análise da morfologia do terreno, do contexto tectónico e das saídas de campo foi possível constatar que, tal como já tinha sido discutido por Mariano Feio (1951) e Brum Ferreira (1991), a paisagem da SA corresponde a uma antiga superfície plana que foi deslocada, em blocos desnivelados, pela falha VRP. Os vestígios desta superfície podem ser observados no topo plano da serra e em alguns lugares numa segunda superfície aplanada mais baixa onde se encontram as aldeias do Varzigueto, Pioledo e Bobal. Ao longo destas superfícies é possível observar baixos declives e que os rios desenham meandros, algo que não é natural em paisagens de alta montanha.

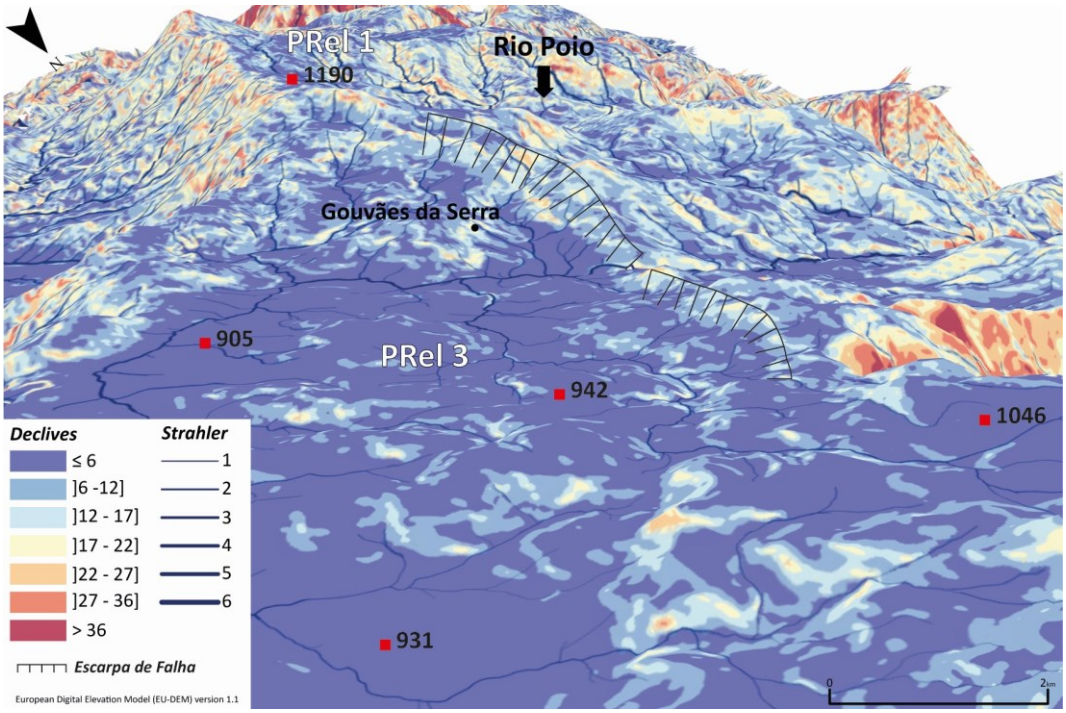

Figura 34 – Declives nas paisagens relíquia 1 e 3.

Estas duas superfícies correspondem a uma superfície plana que foi deslocada e dividida em blocos pela falha VRP, fazendo com que existam "deslocamentos verticais de 300 metros na escarpa ocidental da serra do Alvão" (Brum Ferreira, 1991). De acordo com as observações realizadas na serra e através dos modelos digitais, foi possível verificar que a situação da SA é mais complexa, uma vez que é possível observar que o próprio topo da serra está dividido em blocos diferentes com elevações e inclinações diferentes.

O planalto de Gouvães da Serra corresponde a um bloco ligeiramente mais baixo (figura 34), 800 – 900 metros, que o bloco onde se encontra a bacia do rio Poio e do rio Olo (1000 – 1200 metros). Em Gouvães a superfície está ligeiramente inclinada para Sudeste, em direção à bacia de Telões, enquanto que a superfície onde se encontram as bacias do rio Poio e Olo está inclinada para Oeste. A inclinação destes blocos pode ser visualizada nos *Swath Profiles* da figura 16.

A figura 35 mostra-nos o limite Ocidental da serra onde é possível observar que, mais uma vez, existem duas superfícies aplanadas distintas. A superfície PRel 1 correspondente ao topo da serra, enquanto que a PRel 2 corresponde à superfície aplanada onde se encontram as aldeias do Varzigueto e Pioledo. As superfícies estão limitadas por escarpas de falha a ocidente, facto que já tinha sido identificado por Brum Ferreira (1991) no seu artigo, *'Neotectonics in Northern Portugal: A geomorphological approach'*.

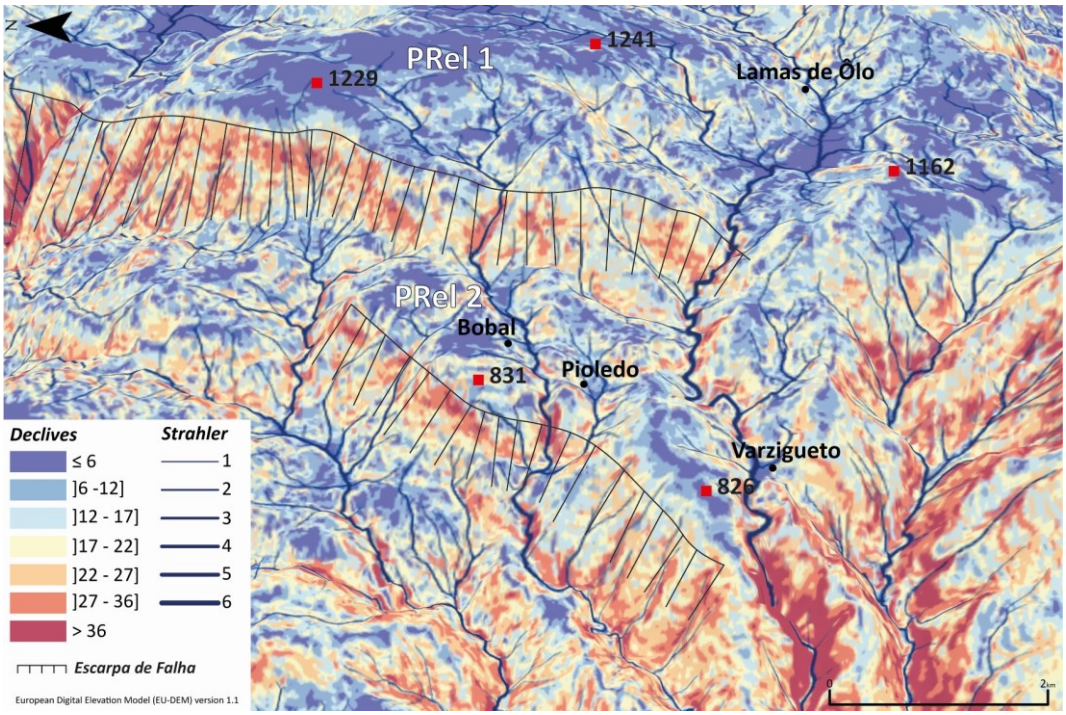

Figura 35 – Declives nas paisagens relíquia 1 e 2.

A imponência e o desnível destas duas escarpas são a principal origem das maiores quedas de água da serra, as Fisgas do Ermelo e as quedas de água do rio Poio. Estes *knickpoints* funcionam como um nível de base local para montante, bloqueando ou retardando as vagas erosivas provenientes do nível de base geral, no caso, o Rio Tâmega.

Estas superfícies antigas estão mais conservadas onde a litologia predominante é composta por rochas graníticas, enquanto que nos xistos, os cursos de água e os movimentos de vertente já foram capazes de erodir a maior parte das evidências deixando apenas alguns terraços em rocha ou restos de topos aplanados.

4. Análise dos percursos dos utilizadores do Wikiloc

Para relacionar os resultados do capítulo anterior com o impacto que os *knickpoints* têm no geoturismo que se realiza na SA, decidimos analisar os dados da aplicação móvel Wikiloc. Esta plataforma permite aos utilizadores gravar com o seu telemóvel ou GPS outdoor os percursos que realizam durante a prática de várias atividades desportivas ou de lazer. Ou seja, entre o público alvo desta aplicação estão os praticantes de caminhada, corrida, ciclismo entre outros desportos que incentivam os seus praticantes a desenvolverem atividades ao ar livre fazendo com que, normalmente, percorram um trilho.

Uma vez que a recolha destes dados tem obrigatoriamente de ser manual, por não disponibilizar uma API (Interface de programação que permite acesso aos seus dados) que permita ao público aceder e recolher os dados através de código, decidiu-se utilizar uma área mais pequena para esta análise.

A área escolhida compreende o PNA e uma área de 1500 metros no seu entorno (figura 41). A escolha desta área deveu-se à importância que o Parque Natural tem na SA e pela principal atração deste parque ser a *knickzone* das Fisgas de Ermelo. Com base nos dados recolhidos no capítulo anterior decidiu-se estender a área de estudo em 1500 metros de forma a que esta também incluísse as Cascatas de Galegos da Serra e as Cascatas de Bilhó.

4.1. Recolha e organização dos dados

A informação espacial dos percursos efetuados é recolhida através do GPS do dispositivo móvel, que armazena o trilho realizado e vários pontos de interesse, os *waypoints*. Isso, permite aos utilizadores adicionarem fotos dos pontos de interesse, em que o registo do local ou da foto está dependente do utilizador. A recolha dos dados de

localização do trilho, após iniciada a aplicação pelo utilizador, decorre automaticamente e funciona ao longo de todo o percurso, mesmo com a aplicação em segundo plano no dispositivo. Toda a informação recolhida pelo utilizador é posteriormente disponibilizada na aplicação e website do Wikiloc. A aplicação permite que outros utilizadores sigam os trilhos realizados e partilhados pela comunidade do Wikiloc, visualizando os trilhos através da própria aplicação, ou transferindo-os em vários formatos que permitem a sua visualização/manipulação noutros programas.

De forma a potencializar os dados existentes nesta plataforma, decidiu-se utilizar os trilhos efetuados por praticantes de caminhada, montanhismo e praticantes de passeios pedestres como os utilizadores alvo da nossa área de estudo. A escolha dos praticantes destes desportos prende-se com o facto do público-alvo do estudo focar-se nos utilizadores que fazem percursos pedestres.

De forma a evitar o maior número possível de dados que tivessem sido colocados na categoria errada ou pessoas que desligassem a aplicação sem terminar o trilho, filtrou-se os dados pelo comprimento dos percursos. Desta forma, apenas se transferiram os trilhos que tivessem entre 1 e 50 quilómetros. A área definida para fazer o download dos trilhos foi uma área superior ao PNA, uma vez que também era objetivo desta análise obter todos os trilhos que cruzem o PNA ou que estejam no seu entorno.

Seguindo estes critérios, a pesquisa resultou num total de 1960 trilhos. A lista de resultados desta pesquisa foi guardada sobre a forma de um *link*, sendo possível de seguida exportar todos os trilhos e garantir que não eram transferidos trilhos em duplicado. Escolheu-se o formato GPX para exportar os trilhos, uma vez que apenas este permite obter os trilhos no seu formato original, ou seja, com todos os pontos registados pela aplicação, aproximadamente de 40 em 40 segundos. Outros formatos em trilhos de dimensão superior, como é o caso dos ficheiros KML, reduzem os trajetos a apenas 500 vértices.

De forma a aumentar as possibilidades de estudo, potencializando a análise das diferenças sazonais, os percursos foram transferidos e organizados de acordo com o mês em que se efetuaram (figura 36).

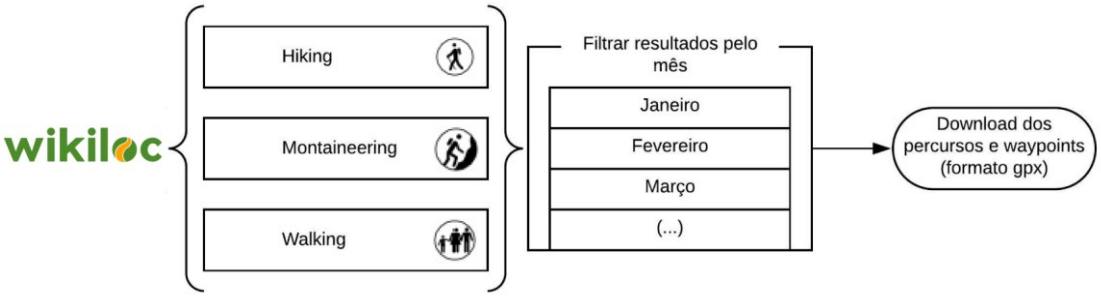

Figura 36 - Diagrama do processo de recolha de dados do Wikiloc.

4.2. Tratamento dos dados

O primeiro passo para realizar a análise dos dados consistiu na conversão do ficheiro GPX para *shapefile,* uma vez que os formato anterior não possibilita a análise dos dados no ArcGIS. A conversão para *shapefile* não elimina nenhum vértice, desta forma não existem desvantagens deste formato em relação ao formato original. Após a conversão, os dados dos percursos têm toda a informação sobre a forma de pontos, dividindo-se em duas categorias: os *trackpoints* e os *waypoints*. Os *trackpoints* correspondem aos pontos obtidos pelo GPS ao longo do trilho e os *waypoints* correspondem aos pontos em que o utilizador tira uma foto ou marca um ponto de interesse.

Após realizar a conversão dos ficheiros originais para formato *shapefile* foi necessário separar os dados dos pontos de interesse dos dados dos percursos. Para os trilhos é necessário, para cada um dos ficheiros, selecionar os pontos correspondentes aos *trackpoints* e através desses pontos criar uma linha correspondente ao percurso realizado pelos utilizadores. Já para as fotografias é apenas necessário selecionar os pontos identificados na tabela de atributos como waypoints e exportar os pontos selecionados para um novo ficheiro.

Embora os passos necessários para separar estes dois dados sejam extremamente simples, este trabalho complica-se pelo facto de ser necessário repetir o processo para cada um dos ficheiros. De forma a agilizar esta fase do trabalho fosse realizada num curto espaço de tempo criou-se um *script (*uma sequência de comandos e código) que automaticamente identifica

todos os ficheiros GPX dentro de uma pasta, converte-os para shapefile, gera as linhas correspondentes aos percursos e extrai as fotografias para uma nova *shapefile* (figura 37).

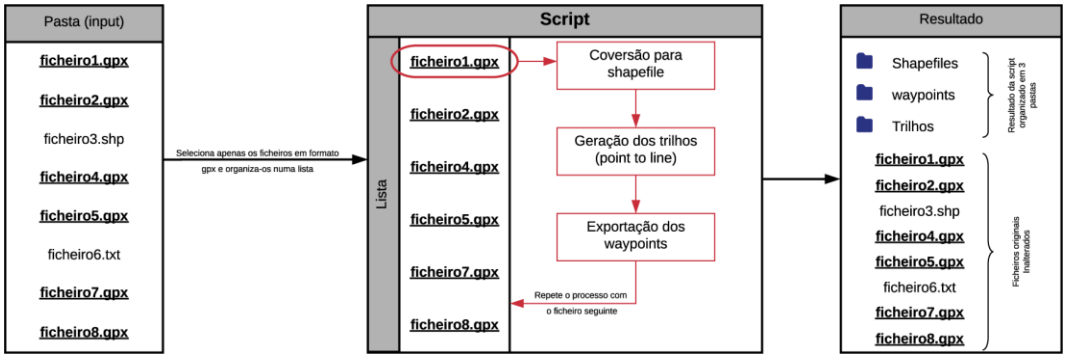

Figura 37 – Esquema conceptual do script para preparar e organizar os dados Wikiloc.

Através do uso deste *script* foi possível converter todos os dados em poucas horas e para além da criação do *script,* apenas foi necessário indicar as pastas onde se encontravam os ficheiros GPX, automatizando o processo.

Na figura 37, é possível ver como o *script* funciona, em que basicamente, indicamos a pasta onde se encontram os ficheiros e automaticamente seleciona todos os ficheiros que estejam no formato GPX e para cada um deles faz sequencialmente a conversão para *shapefile*, a geração da linha correspondente ao percurso e a criação de um nova *shapefile* com a informação dos pontos de interesse registados pelo utilizador. Caso o utilizador não guarde nenhum ponto de interesse, o código salta este passo sem comprometer o bom funcionamento deste script nos ficheiros seguintes. Os ficheiros criados pela execução do código são automaticamente guardados e organizados em três pastas, uma para os dados originais no formato shapefile, outra para os percursos e, por fim, outra para os pontos de interesse.

Após separar os dados foi possível passar para a análise espacial dos mesmos, mas primeiro, foi necessário filtrar os percursos e fotografias pela área de estudo. Uma vez que o Wikiloc não permite filtrar a pesquisa pela área, da mesma forma que um software SIG possibilita. Nos trilhos, foram selecionados todos que intersectavam a área de estudo e nas fotografias todas as que se encontravam dentro da área de estudo.

Após esta filtragem, os trilhos foram analisados visualmente de forma a eliminar os que apenas intersetassem a área de estudo devido a erros do GPS. Desta forma, foi possível obter um total de 662 percursos que cruzam a área de estudo e 1894 fotografias. A partir dos percursos foram obtidos os pontos onde começam e onde terminam cada um dos trilhos.

4.3. Resultados

4.3.1. Análise espacial dos locais de início e fim de percurso

Após o tratamento dos dados obtidos foi possível analisar a localização dos locais de partida e de fim dos percursos pedestres na área do PNA e a sua envolvente. Os trilhos selecionados para análise foram todos os que passavam, pelo menos, a 1500 metros do parque e não apenas os que se localizavam na sua totalidade ao dentro da área de estudo. Desta forma, é expectável que o número de inícios de percurso e os números de fins de percurso sejam diferentes do total de trilhos que foram analisados.

Dentro da área de estudo, registamos 609 pontos de partida e 612 de chegada (figura 39), situando-se a sua maioria, na localidade de Ermelo, que sozinha aglomera mais de 1/3 dos pontos de partida e chegada totais. Outras áreas como a estrada municipal 1200 (EM1200), a barragem da Cimeira, as localidades de Varzigueto, Agarez e Lamas de Olo destacam-se, apesar de não serem comparáveis à vila de Ermelo, todas estas áreas acumulam entre 40 e 90 pontos de partida ou chegada. As áreas do Varzigueto e a EM1200 são muito próximas de Ermelo e situam-se ao longo do trilho oficial que passa pela Fisgas de Ermelo o percurso regional 3 de Mondim de Basto. Este trilho é um percurso circular com origem na localidade de Ermelo e cujo percurso passa pelas duas vertentes com vista para as Fisgas de Ermelo com origem na localidade de Ermelo. Já Agarez destaca-se por ser o principal foco fora do PNA.

Outros pontos importantes, são as localidades de Bilhó, Arnal e de Galegos da Serra. Bilhó e o Arnal têm valores consideráveis, destacando-se por estarem afastados da área das Fisgas do Ermelo. O Arnal está no extremo oposto do parque e Bilhó fica fora do PNA. Galegos da Serra junta poucos pontos, mas merece destaque por ser um dos locais com mais potencial geoturístico e um local em que passam bastantes utilizadores do Wikiloc.

Ao analisar estes dados é possível identificar a influência que os percursos oficiais e as atratividades geomorfológicas têm na área de estudo. Os principais hotspots ocorrem ao longo destes percursos, com o PR3 – Mondim de Basto a dar origem aos 3 principais focos destes dados. A localidade de Ermelo corresponde ao início e final do percurso circular que passa pela maior referência do parque, as Fisgas de Ermelo, corresponde ao principal hotspot. O Varzigueto e a EM1200 encontram-se ao longo deste trilho oficial e têm a particularidade de serem dos poucos locais onde existe espaço para estacionar as viaturas enquanto se faz o trilho. A influência dos locais onde é possível estacionar automóveis é muito visível ao longo da EM1200, com os focos ao longo desta estrada a situarem-se exatamente onde existe espaço para estacionar na berma da estrada. No interior da localidade de Ermelo, o principal foco corresponde também ao local onde existe mais espaço para estacionar o automóvel. Este parque de estacionamento disponível fica junto ao restaurante e café Sabores do Alvão que apenas possibilita o estacionamento a 7 automóveis (figura 38D). O parque da igreja, embora tenha mais lugares disponíveis apenas se encontra aberto em dias de missa e o estacionamento noutras ocasiões não religiosas é proibido.

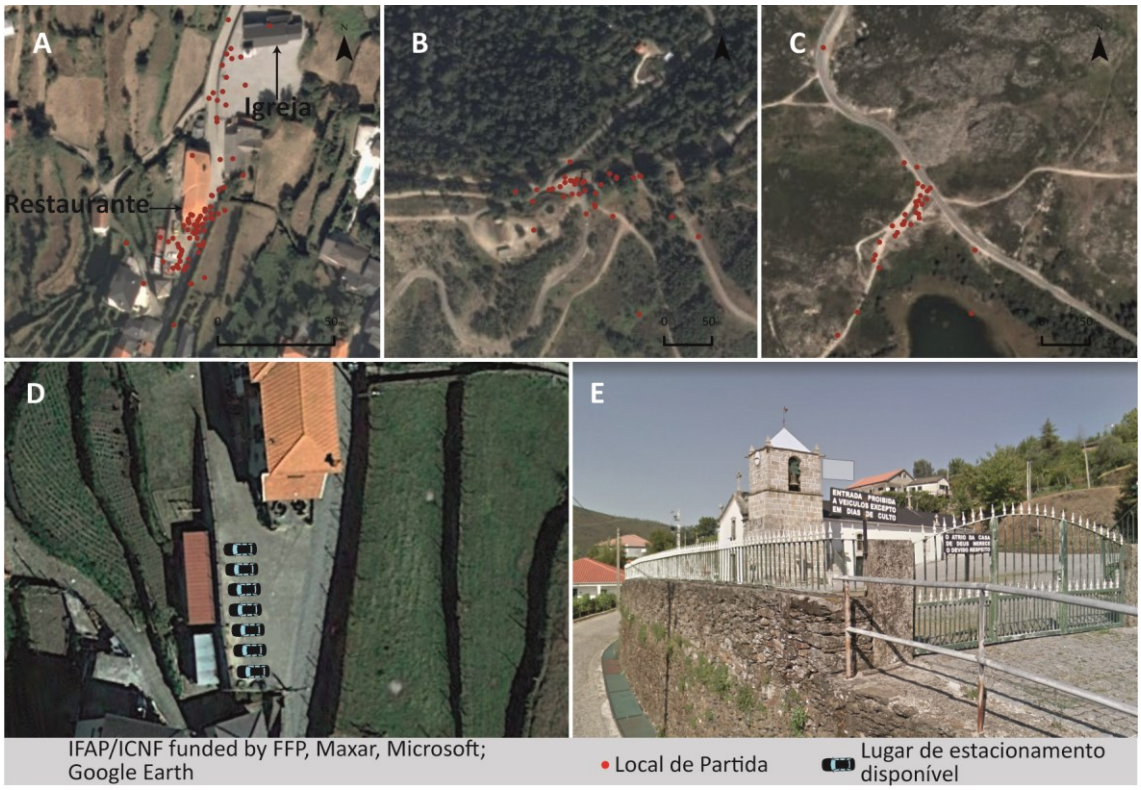

Figura 38 – Exemplos de locais onde é muito comum os visitantes iniciar um trilho. A) Parque de estacionamento do Café e restaurante Sabores do Alvão, Ermelo. B) Capelinha do Fojo, Ermelo. C) Descampado junto à albufeira da Barragem da Cimeira. D) Locais de estacionamento disponíveis junto ao restaurante. E) Proibição de estacionamento no parque da igreja.

Na vertente Este do parque existem vários *hotspots* com dimensão um pouco inferior aos que se situam junto às Fisgas do Ermelo. Estes focos situam-se ao longo do Trilho de Agarez-Arnal, o segundo trilho oficial presente nesta área. Este trilho também é um trilho circular com origem em Agarez e passagem por Galegos da Serra, Sirarelhos e Arnal. Tal como no caso de Ermelo, o principal foco ao longo deste trilho é o ponto de partida do trilho oficial, Agarez, mas neste caso a diferença para os focos ao longo deste trilho não é tão evidente. Esta diferença menor pode dever-se ao longo comprimento do trilho oficial. No topo da serra, é ao longo do trilho Barragem-Barreiro-Lamas que se localizam os principais focos de pontos de partida. Aqui também é possível ver a importância que o espaço para deixar o veículo têm na escolha dos locais para iniciar e terminar o trilho (figura 39). Neste caso, um dos principais locais é junto à barragem da

Cimeira, pese embora, seja um local isolado, tem um enorme descampado que permite aos visitantes estacionar o automóvel.

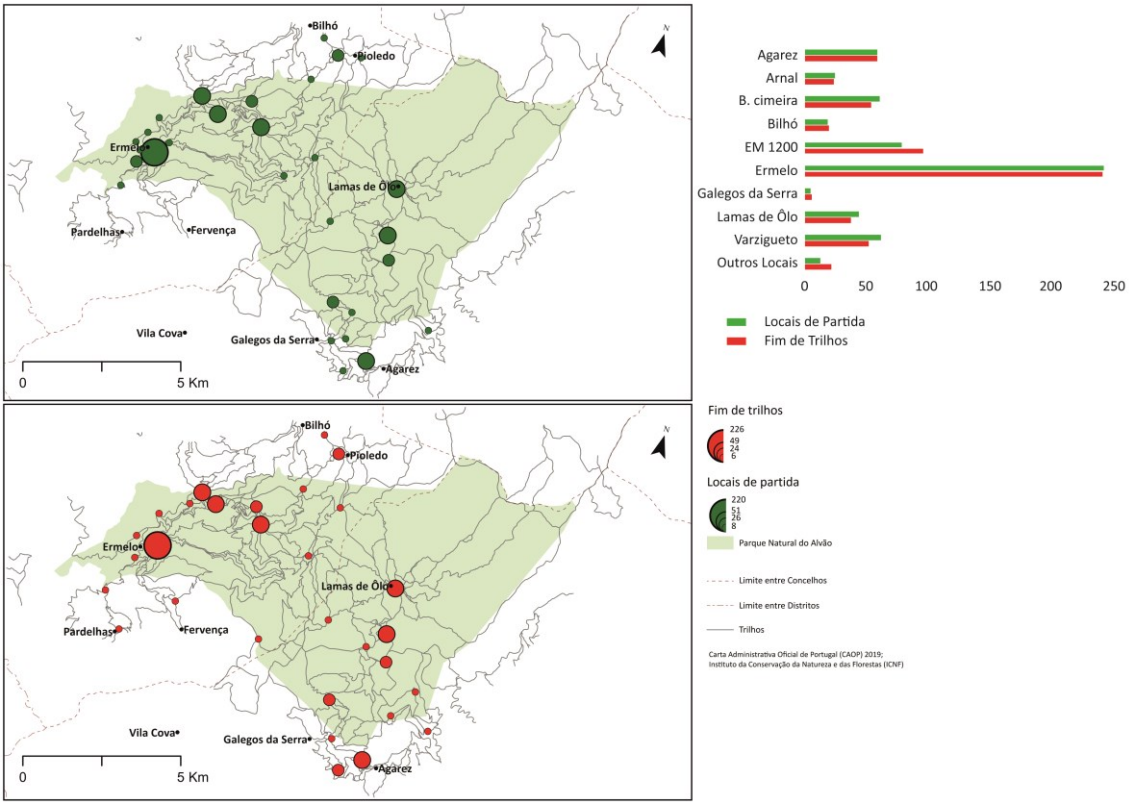

Figura 39 – Inícios e fins de percursos

4.3.2. Análise espacial dos percursos realizados pelos utilizadores do Wikiloc

Nesta área foram realizados trilhos, através da aplicação Wikiloc, desde 2008. Apenas dois anos após o lançamento da aplicação, entre 2008 e 2019, foram registados 760 trilhos que cruzam a área de estudo.

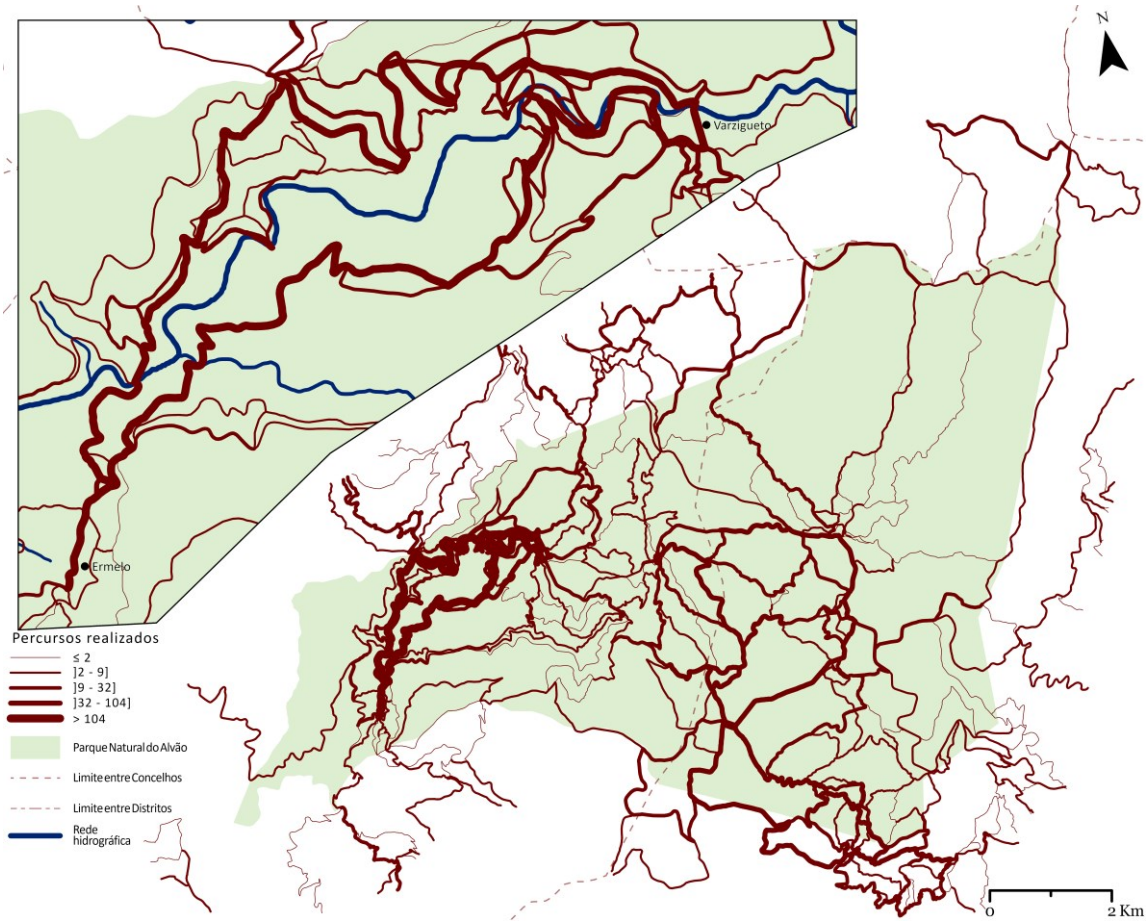

Figura 40 – Frequência de utilização dos percursos pedestres no parque do Alvão.

Ao analisar estes dados é possível verificar que, tal como mostra a análise aos dados dos pontos de partida e fim de percurso, o setor das Fisgas de Ermelo foi o principal foco de atração para os utilizadores desta aplicação. Sendo possível observar que o PR3 -Mondim de Basto (figura 41) se destaca, tendo ao longo da sua extensão sempre mais de 100 trilhos realizados. Como é possível verificar na figura 40, as duas localidades conectadas por este trilho oficial destacam-se das restantes com a pequena aldeia do Varzigueto onde se realizaram 306 percursos do Wikiloc e a vila de Ermelo a fazer parte de 288 percursos.

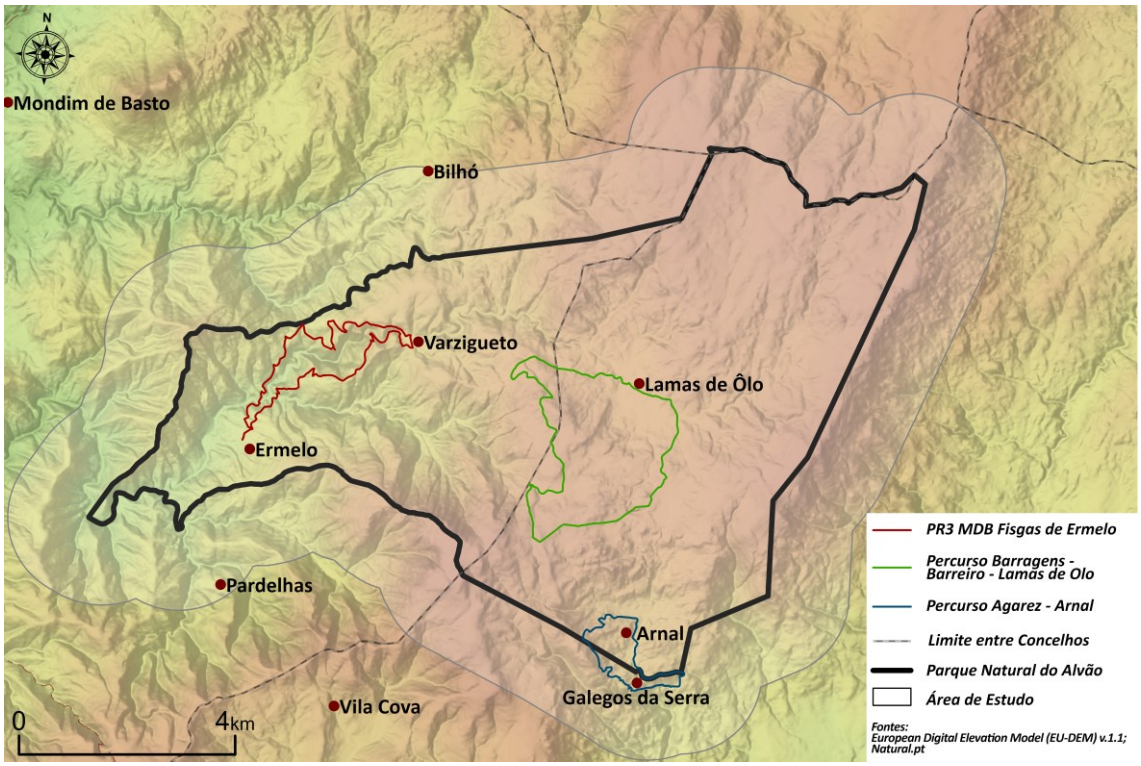

Figura 41 - Percursos oficiais no Parque Natural do Alvão.

A área entre Galegos da Serra e Lamas do Olo também se destaca, tal como era expectável. Neste setor do PNA existem vários trilhos que conectam as várias localidades existentes na vertente Este do parque e Lamas de Olo, fazendo com que esta área seja o principal foco para além dos limites do PNA. Estes trilhos são realizados na sua maioria pelas cumeadas do topo da serra, mas na vertente da serra, junto a Galegos da Serra e Arnal existem percursos que permitem visitar algumas quedas de água. A presença destas feições geomorfológicas, aliadas à paisagem de montanha, podem ser os motivos pelo qual estas duas terras se destacam em relação a Lamas de Olo e Agarez (figura 40).

O setor a Norte do parque é a segunda área que mais se destaca fora da área do PNA. Esta área envolve os sítios do Bobal e Pioledo que contam com 32 e 21 registos. Este setor tem a particularidade de ter as cascatas de Bilhó (figura 42) como principal atração, localizadas junto do lugar do Pioledo, onde existem vários megablocos localizados ao longo do curso de água. Apesar da sua proximidade ao setor das Fisgas de Ermelo, esta

área destaca-se pela ligação à localidade de Lamas de Olo com vários trilhos a conectarem estes dois locais.

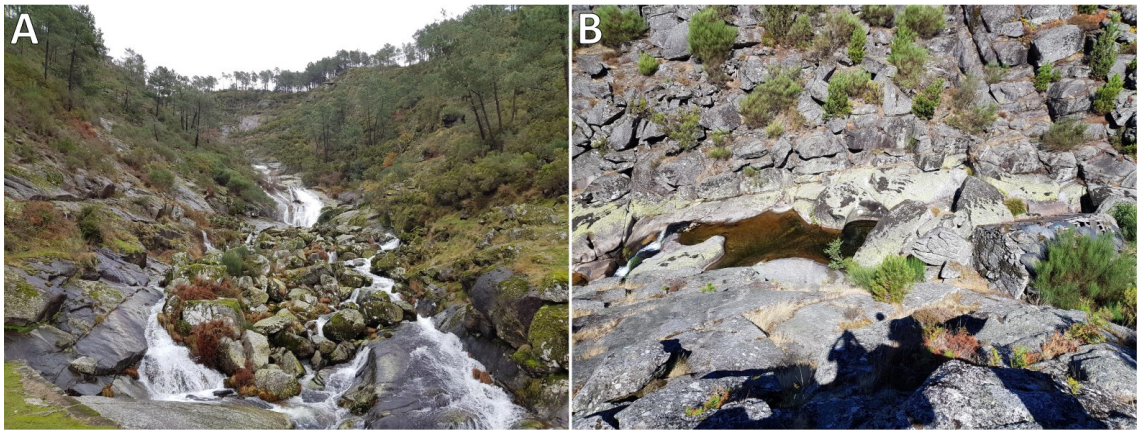

Figura 42 – Fotografias das Cascatas de Bilhó. A) Megablocos caídos na base da knickzone. B) Pequenas lagoas ao longo da cascata.

A vertente Este da SA também se destaca pela sua densa rede de trilhos a Norte das localidades de Agarez e Galegos da Serra. Embora estes não sejam tão frequentados como outros setores da área de estudo, esta área consegue ter um elevado número de caminhos utilizados pelos utilizadores da aplicação.

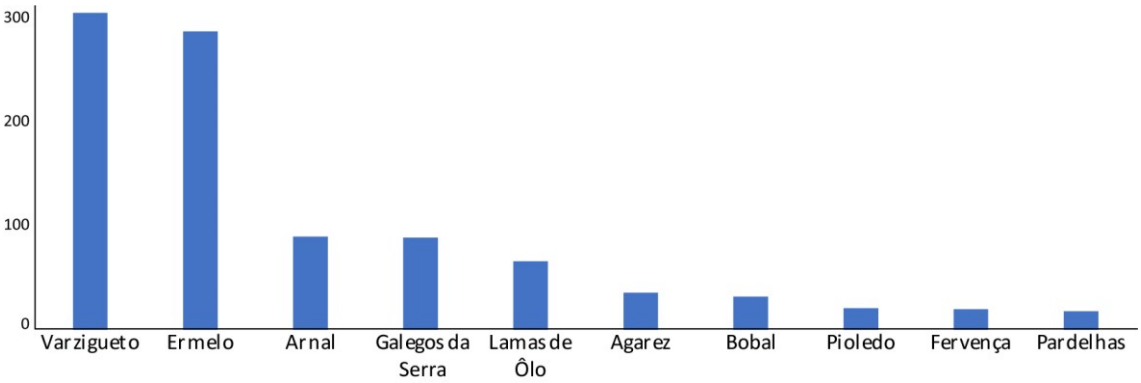

Figura 43 – Número de trilhos que cruzam as principais localidades presentes na área de estudo.

Ao longo do Percurso Regional 3 de Mondim de Basto é possível verificar que os visitantes, na sua maioria, seguem o percurso oficial na sua totalidade. Contudo é possível verificar que são feitos pequenos desvios ao longo do percurso. Os principais desvios correspondem a pequenos trilhos que permitem o acesso a miradouros e locais

que possibilitam a observação das várias quedas de água e acesso às lagoas existentes ao longo das Fisgas de Ermelo.

Figura 44 – Exemplo de um desvio para aceder a um miradouro. A) Acesso ao miradouro. B) Imagem do Google Earth do Miradouro. C) Vista para as Figas de Ermelo. D) Vista para uma falha.

No caso de Galegos da Serra, o percurso que mais se destaca é o Percurso Agarez – Arnal (figura 41). Este, tem como principais atrativos as cascatas de Galegos da Serra e as quedas de água do Arnal. Porém, aqui não se destaca tão nitidamente o traçado do trilho oficial como no caso do PR3 – Mondim de Basto, existindo muitos percursos adaptados com muita afluência comparativamente ao percurso oficial. Estas adaptações podem ter a ver com o facto de ao longo deste percurso não se poder comtemplar as cascatas de Galegos da Serra de frente ou visitar a localidade de Sirarelhos.

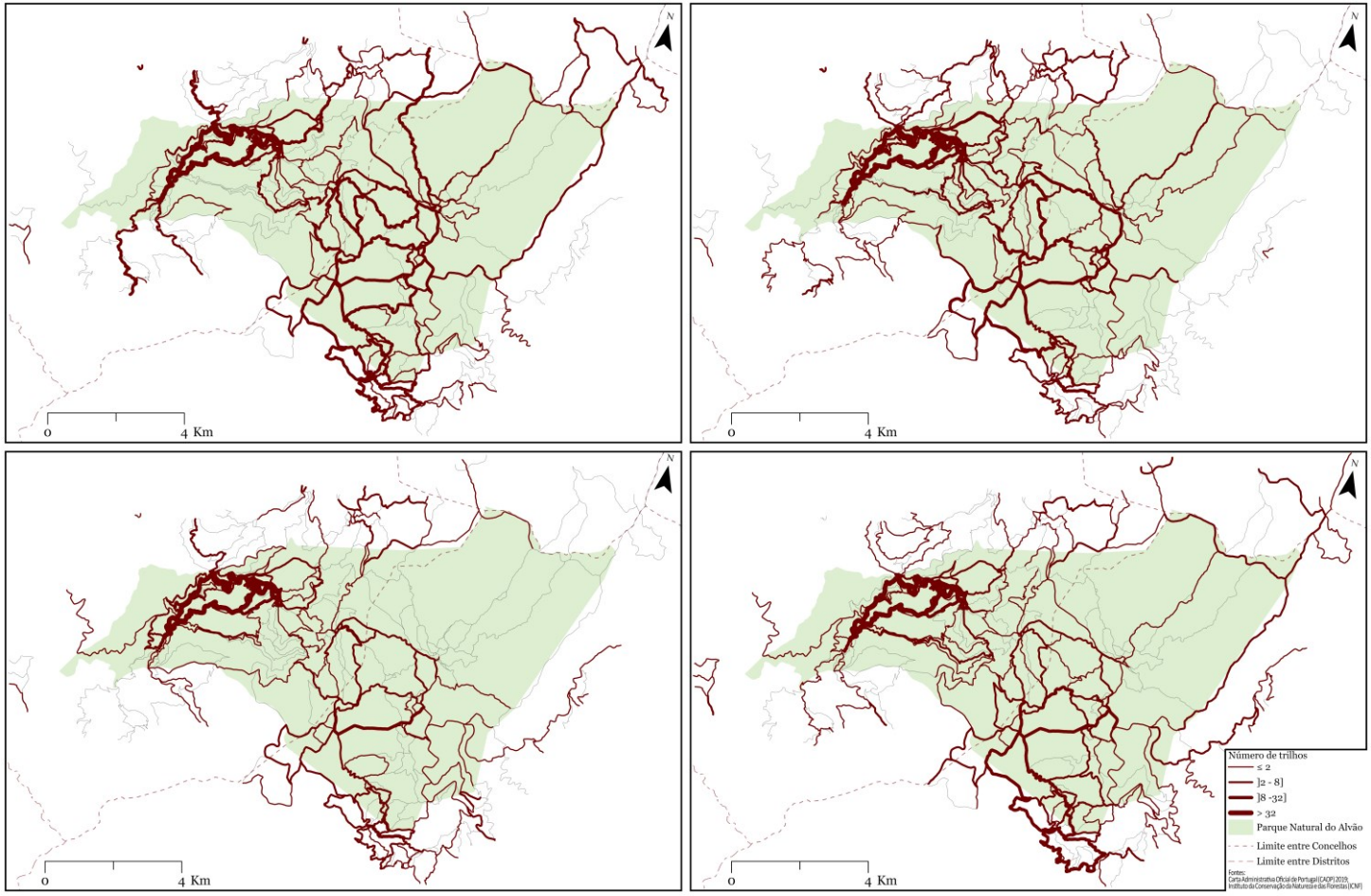

Figura 45 – Mapa representativo do efeito da Sazonalidade na frequência de utilização dos trilhos pedestres no PNA.

Como é possivel verificar na figura 45 o número de trilhos realizados pelos utilizadores do Wikiloc varia de acordo com a estação do ano. Estas diferenças são visíveis ao analisar os números totais de trilhos realizados em toda a área de estudo, mas as diferenças são mais explícitas quando se analisam os impactos da sazonalidade nas várias localidades presentes na área de estudo.

De um total de 760 trilhos, a época em que se realizam mais visitas ao parque foi a primavera com 233 (30.7%) trilhos realizados nesta altura do ano, de seguida, no inverno realizaram-se 193 trilhos, no verão 180 e, por fim no outono realizaram-se apenas 154 trilhos. Ou seja, 25.4%, 23.7% e 20.2% respetivamente.

É surpreendente que no verão se realizem menos trilhos que no inverno, e até mesmo na primavera, uma vez que o verão é a altura do ano que a população tem mais dias de férias. Mas estas diferenças podem se justificar pela principal atração do parque serem as quedas de água e estas estarem mais ativas ou ter mais água nestas estações.

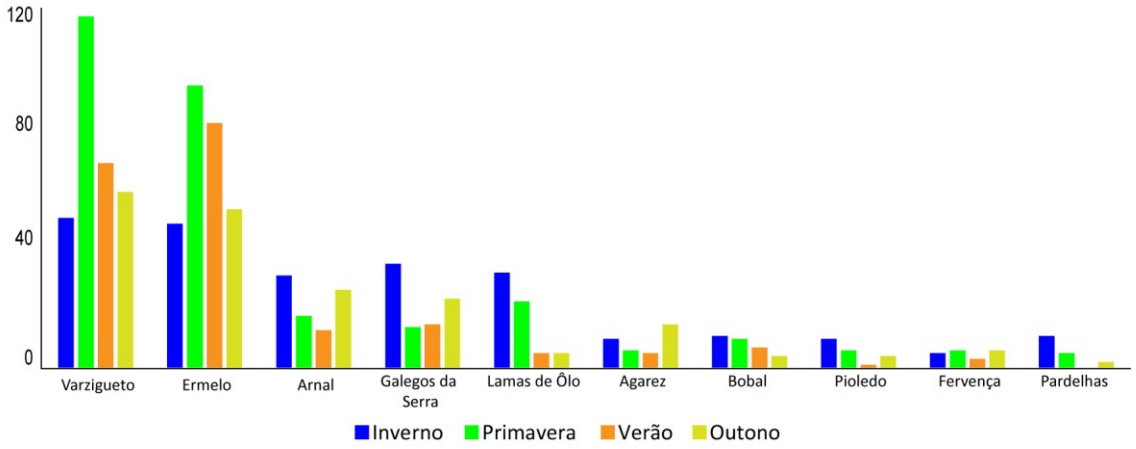

Figura 46 – Impacto da Sazonalidade no número de trilhos que passam pelas localidades persentes na área de estudo.

A figura 46 expressa a sazonalidade de percursos nas diversas localidades da área de estudo, observando-se grandes diferenças entre os dois principais setores mais visitados do parque. Embora o setor das Fisgas de Ermelo seja sempre o mais visitado em todas as estações, a proporção entre os trilhos realizados ao longo das estações não apresentam diferenças tão significativas como nos outros locais, ou seja, as visitas às

Fisgas são mais constantes ao longo do ano. Em Ermelo, a estação que recebe mais visitantes é a primavera e verão, enquanto que no Varzigueto apenas a primavera se destaca. Estas diferenças podem ser observadas nas figuras 46 e 47.

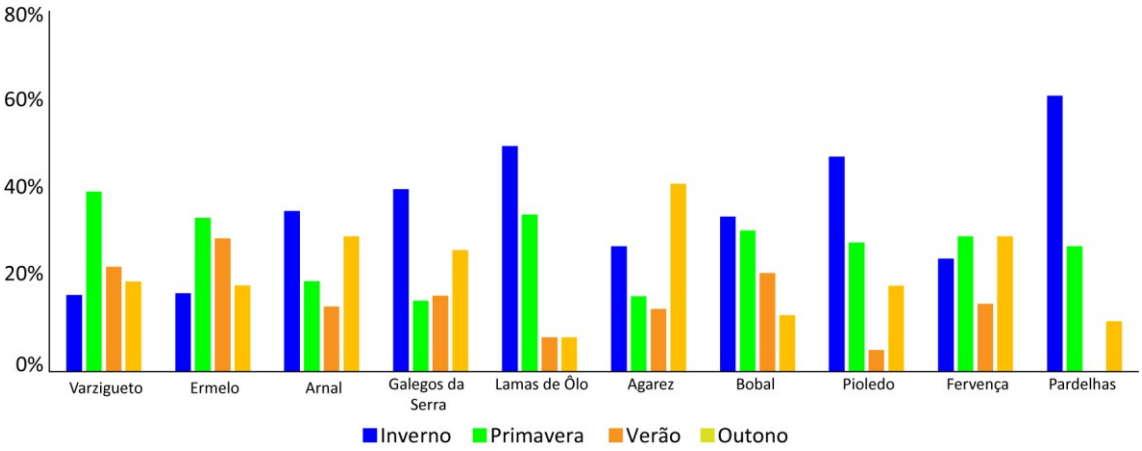

Figura 47 – Proporção entre o número de trilhos realizados por estação numa localidade e o total de trilhos nessa localidade.

No setor entre Lamas de Olo e Galegos da Serra as diferenças entre as estações do ano são completamente diferentes do caso anterior. Nesta área, o inverno destaca-se das restantes estações e nos casos de Galegos da Serra e do Arnal, o Outono é a segunda época com mais afluência dos utilizadores do Wikiloc. Lamas de Olo, em particular, recebe 84.8% dos seus visitantes no inverno e primavera, mostrando que existem também diferenças sazonais dentro deste setor, com o centro do parque a ter o inverno e primavera como principais épocas em que recebem visitantes e a parte Sudeste do parque a receber os visitantes com mais frequência no inverno e outono.

Os valores das restantes localidades mostram também uma predominância de trilhos realizados no inverno.

4.3.3. Análise espacial das fotografias captadas pelos utilizadores do Wikiloc

Na figura 48 é possível observar localização de todas as fotografias captadas pelos utilizadores do Wikiloc. A partir destes dados, infere-se os locais que provocam mais interesse aos visitantes desta área. A partir dos dados recolhidos obteve-se a localização de 1894 fotografias, espalhadas por toda a área de estudo.

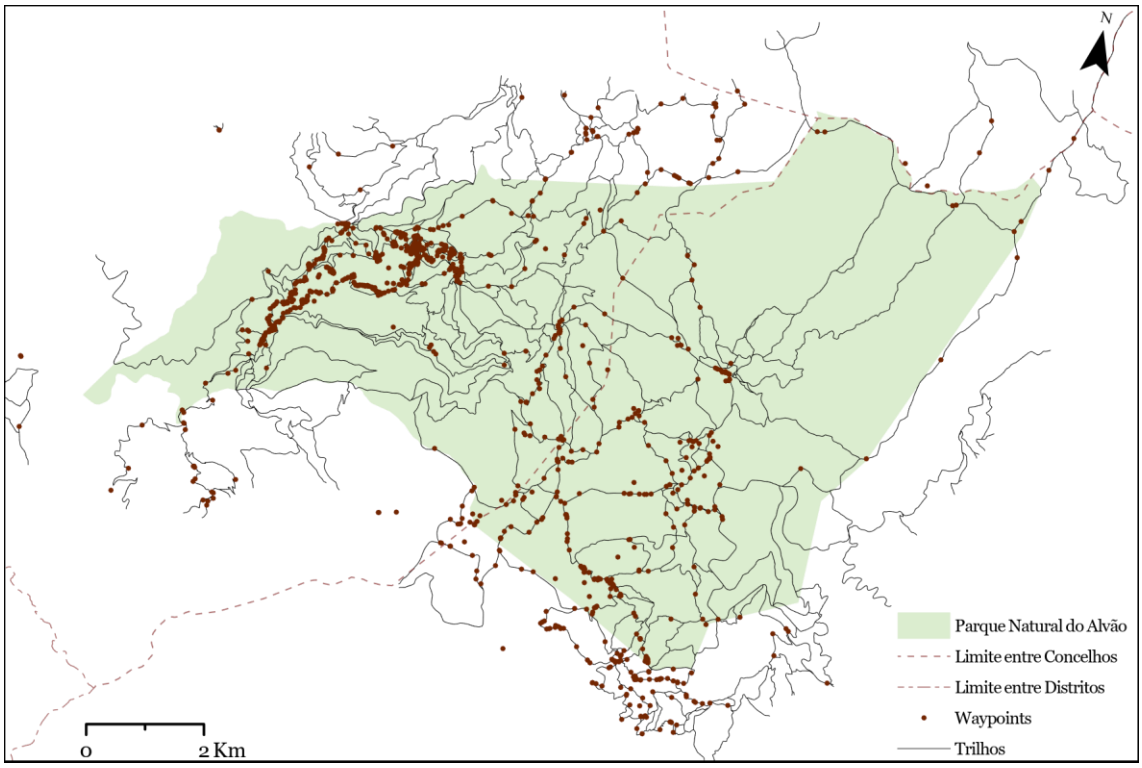

Figura 48 – Locais das fotografias tiradas pelos utilizadores do Wikiloc no Parque Natural do Alvão.

Como era espectável, o setor das Fisgas de Ermelo é o que contem mais fotografias, mas mesmo ao longo deste é possível encontrar *hotspots*, os quais, correspondem a pontos com vista para as quedas das Fisgas de Ermelo, no fundo, a principal atração do PNA. Através da figura 48 é possível verificar que ao longo das Fisgas é possível encontrar vários locais em que a densidade de fotografias captadas pelos visitantes apresenta valores elevados, representados a vermelho no mapa. Estas áreas correspondem a focos em que a densidade de fotografias é superior a 5000 fotografias por quilómetro quadrado.

Os centros das localidades existentes na área de estudo também se assumem como focos de fotografias, mas esta tendência não é tão intensa como junto das feições geomorfológicas. Como é possível verificar na figura 49, as localidades de Ermelo, Varzigueto, Galegos da Serra e Agarez correspondem a "hotspots fotográficos".

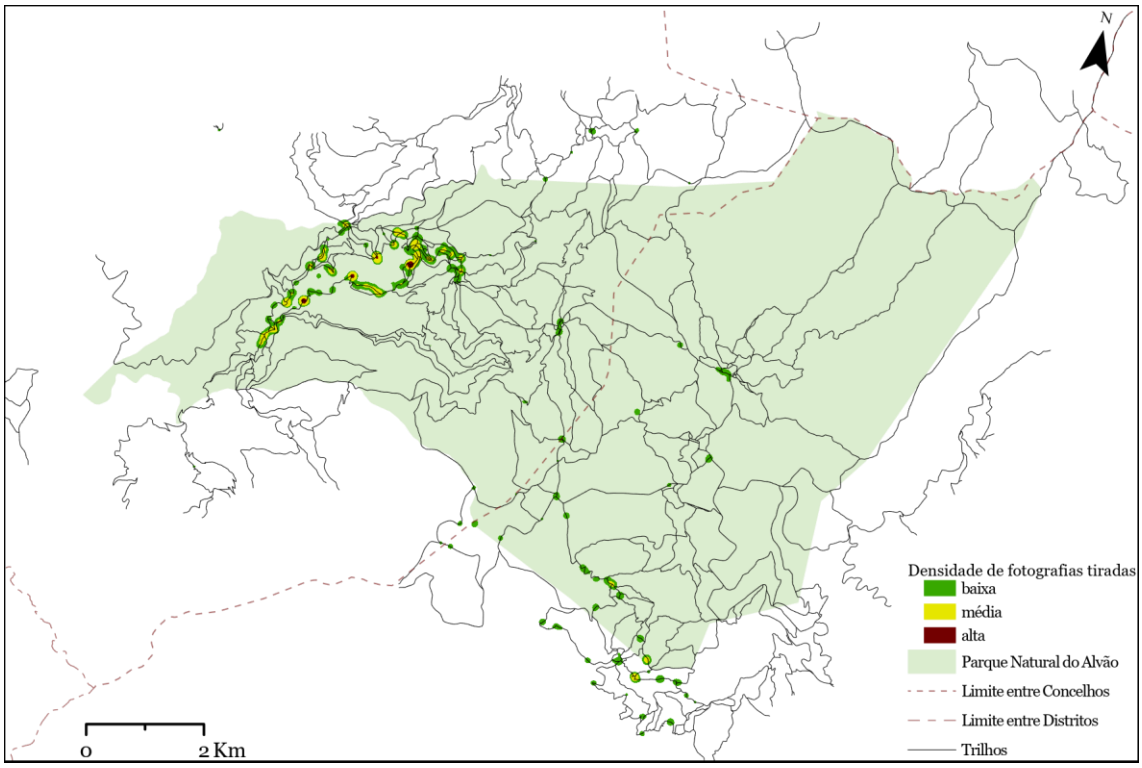

Figura 49 – Densidade de fotografias tiradas pelos utilizadores do Wikiloc no Parque Natural do Alvão.

No setor de Galegos da Serra e Arnal é possível verificar um grande foco de fotografias juntos às quedas de água e cascatas de Galegos da Serra e das Quedas do Arnal. Estes locais registam um foco de média densidade, ou seja, um foco com uma densidade entre 1000 e 5000 fotografias por quilómetro quadrado.

Os centros das freguesias são também focos de baixa densidade de fotos, correspondentes a uma concentração entre 200 e 1000 fotografias. Alguns focos mais circunscritos também podem ser encontrados ao longo das cumeadas. Porém, a maioria das fotos captadas nas cumeadas são tiradas de forma muito dispersa o que não origina focos de dimensão considerável.

5. Conclusão

5.1. O impacto das knickzones no geoturismo

Através da realização deste estudo, foi possível confirmar a influência que as quedas de água podem ter no geoturismo. Estes elementos paisagísticos são muito valorizados e era espectável que a sua imponência se refletisse na rotas e percursos realizados pelos visitantes da Serra do Alvão.

Na área de estudo, em que se analisou tanto a geomorfologia e a localização dos *knickpoints* com os dados espaciais dos utilizadores do Wikiloc, foi possível registar que o principal *hotspot* desta área são as Fisgas de Ermelo. Os locais em redor desta *knickzone*, são os que têm mais pontos de partida e pontos de chegada dentro da área de estudo e o traçado do PR3 corresponde ao percurso mais realizado pelos utilizadores do Wikiloc.

A fachada oriental do parque, correspondente a Galegos da Serra, e ao cimo da serra entre Lamas de Olo e a Barragem da Cimeira, também registam uma grande afluência de visitantes, porém, os seus valores estão longe de rivalizar com os das Fisgas de Ermelo.

As caminhadas em Galegos da Serra são mais frequentes no inverno, altura em que é espectável mais água nas quedas de águas. Em Lamas de Olo, são mais frequentes no inverno e na primavera e entre Ermelo e Varzigueto os números são elevados durante todo o ano, mas predominam na primavera e verão.

As localidades do Pioledo, Fervença e Pardelhas têm a vantagem de ter knickzones muito próximas, mas não conseguem atrair muitos visitantes. O caso do Pioledo é surpreendente uma vez que tem duas *knickzones* impressionantes na sua proximidade, porém, não existe aqui nenhum percurso oficial que promova a sua descoberta pelos visitantes, no entanto, durante a nossa visita a estas queda foi possível constatar que aqui se praticava canyoning. Fervença e Pardelhas têm *knickpoints* com menor impacto. Ambas as aldeias estão situadas num contexto litológico de rochas metamórficas e com knickpoints a corresponderem a bacias de área reduzida o que faz com que as quedas aqui presentes não tenham água o ano inteiro.

5.2. Knickzones ineficazmente aproveitadas

Apesar de a principal atração desta área ser uma *knickzone* ao longo de toda a área envolvente ao Parque Natural da Serra do Alvão existem várias *knickzones* com elevado potencial que não são devidamente aproveitadas. Apenas 2 das principais *knickzones* presentes nesta área são acessíveis pelos 3 percursos oficiais presentes no PNA.

Algumas *knickzones* estão localizadas em locais de fácil acesso, mas não existe qualquer placa a fazer referência a esta feição geomorfológica. Destaco as Cascatas de Bilhó, que de todas as *knickzones* presentes na área de estudo são as que têm o acesso mais simples, mas em contrapartida, não existe qualquer placa que valorize esta *knickzone* com dados acerca da sua formação através de uma captura fluvial, da presença de megablocos e até de uma descrição simples do que se observa. Para além disto, não existe qualquer miradouro que permita aos visitantes destas cascatas observar as quedas para além da margem da estrada.

Outra área que não está a ser devidamente aproveitada são as cascatas de Galegos da Serra, que fazem parte de um percurso oficial, o percurso Agarez – Arnal. Percurso que é muito atrativo para a população e pedestrianistas, uma vez que, é um percurso circular curto, com apenas 6.5 quilómetros. Mas infelizmente, não tem um miradouro que permita ver a espetacularidade das Cascatas. Na minha opinião enquanto visitante do parque, as cascatas de Galegos da Serra, são as cascatas que mais me impressionaram dentro do parque, mas infelizmente não é fácil para outros visitantes as poderem contemplar de um local que permita observar toda a sua grandiosidade.

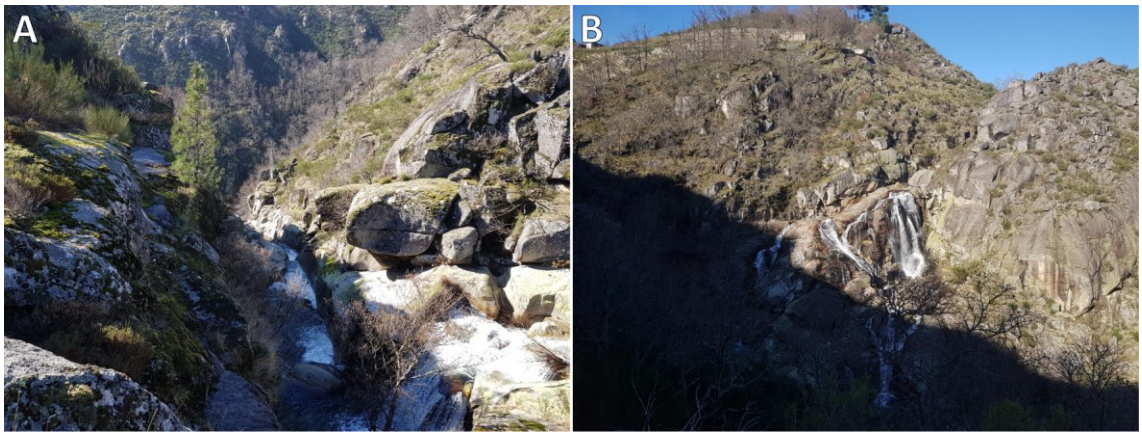

Figura 50 – Vista Para as Cascatas de Galegos da Serra. A) Ponto de vista de quem segue o PR Agarez - Arna. B) Ponto de vista das cascatas de uma posiçãoo frontal.

Na figura 50, é possível observar duas perspetivas das Cascatas de Galegos da Serra, a primeira mostra as quedas no ponto de vista de quem passa pelo trilho oficial, no segundo é possível observar as quedas de frente de um ponto de vista fora do trilho oficial.

Por fim as duas *knickzones*, na passagem do topo da serra para o segundo patamar aplanado onde se encontram as aldeias do Pioledo e Varzigueto, não são percorridas por nenhum percurso oficial. Nem existe qualquer miradouro para as poder contemplar.

A criação de percursos oficiais e miradouros podia ser um fator que trouxesse visibilidade e, consequentemente, mais visitantes à serra, porém esta decisão deve ser bem avaliada e planeada, uma vez que este parque acima de tudo tem a missão de preservar as suas propriedades naturais. E, infelizmente, o aumento de visitantes pode trazer outros problemas a esta paisagem. Como forma de minimizar este problema era importante para além dos percursos oficiais, planear-se também locais que possibilitem aos visitantes estacionar o carro em segurança e locais para depositar o lixo. Com um bom planeamento, para além de trazer mais visitantes, a criação de novos percursos oficiais poderia também ser uma forma de conservar e valorizar a paisagem, uma vez que iria fazer com que percursos que, como podemos ver nos dados do Wikiloc, já são percorridos pelos visitantes do parque tenham melhores condições e segurança.

Para além da falta de percursos oficiais, foi também possível constatar que nos percursos oficiais existentes não existe sinalização (ou existe pouca) que permita aos visitantes, para além de deslumbrar a paisagem, compreender a formação da paisagem ou identificar caraterísticas geomorfológicas e geológicas na paisagem.

5.3. Vantagens dos dados recolhidos para o conhecimento e ordenamento do território

Através dos dados recolhidos na aplicação Wikiloc é possível obter dados com elevado valor para o planeamento e ordenamento do território. Apesar de esta ou qualquer outra aplicação que recolha este tipo de dados não abranger todos os visitantes de uma determinada área de estudo. Esta é suficiente para encontrar padrões, de quem as visita e identificar problemas/soluções.

Através dos dados recolhidos foi possível identificar as áreas onde os visitantes começavam os trilhos e consequentemente identificar os sítios onde estacionavam os carros. Estes dados podem ser utilizados para identificar locais onde há necessidade de criação de parques de estacionamento nas aldeias e locais onde têm origem os percursos oficiais ou percursos com muita afluência dentro do PNA.

Através da análise dos percursos realizados, também é possível verificar onde eles se perdem e se enganam no percurso tendo depois de voltar para trás, estes dados podem ser utilizados para identificar locais onde existe problemas com de sinalização ao longo dos percursos. Estes dados, são uma forma simples de identificar potenciais problemas ao longo dos percursos, e permite ter uma visão que não é possível ter ao realizar somente os percursos.

Outra vantagem muito importante destes dados é verificar quais são as áreas que têm maior risco de ser, de alguma forma, danificadas pelos visitantes, permitindo às entidades que as gerem, atuar preventivamente. Através da densidade de visitas que cada local da serra recebe é possível estimar quais são as áreas onde se pode acumular mais lixo.

Por fim, é também possível analisar as tendências dos visitantes e ver os locais em que é comum os visitantes se colocarem em situações de risco, tais como: aproximarem-se de uma escarpa para poder tirar uma foto ou obter uma melhor vista para certas quedas de água ou outros elementos da paisagem. Através deste tipo de dados espaciais, é possível prevenir possíveis acidentes ou colocar sinais de prevenção a avisar os caminheiros do perigo.

5.4. Propostas para a área de estudo

Após o trabalho realizado e o conhecimento da área de estudo faço duas propostas que poderiam trazer algum valor para duas áreas que, durante as saídas de campo, me impressionaram e que podem ter capacidade de ser um foco de geoturismo que, pelos menos, rivalize com as Fisgas de Ermelo.

Esta duas áreas são as Cascatas de Galegos da Serra, no limite Este do PNA e as Cascatas de Bilhó. De estas as duas, Galegos da Serra já consegue atrair vários visitantes, porém a dimensão das suas cascatas que, na minha opinião, têm capacidade de atrair mais visitantes. No Pioledo a situação é diferente, aqui são ainda poucos os visitantes que disfrutam das suas magnificas cascatas, apesar de tudo, as Cascatas do Bilhó são reconhecidas e permitem a que muitos viajantes as observem uma vez que se localizam junto à estrada principal.

Figura 51 - Proposta para a localização de um miradouro em Sirarelhos.

Na figura 51, proponho a localização de um miradouro em Sirarelhos que permita aos visitantes destas aldeias e *percursos* contemplar as Cascatas de Galegos da Serra de um local que seja possível observar a sua imponência . Considero que este miradouro seria importante uma vez que mostra uma perspetiva das quedas que não é possível observar por quem realiza o percurso entre Agarez e o Arnal. O miradouro podia ser complementado com painéis informativos e educativos acerca da *knickzone* e das caraterísticas litológicas e estruturais em que esta *knickzone* se insere.

Figura 52 – Proposta de um percurso circular entre Pioledo, o topo da serra e o Bobal e algumas das paisagens que quem o percorre pode comtemplar.

No Pioledo, situado fora do limite do PNA, proponho a criação de um percurso oficial (figura 52), de forma a atrair mais visitantes a esta parte da serra. Aqui, temos a vantagem de numa pequena área termos duas *knickzones* de grande dimensão. A mais impressionante seriam as Cascatas de Bilhó que com os seus vários saltos e megablocos impressionam qualquer visitante, para além das caraterísticas naturais este troço do rio, é também a casa de dois antigos moinhos que representam a história da população da serra e da importância que este locais, em que a água do rio acelera, tinha para as populações.

Para além destas originalidades, entre o topo da serra e a aldeia do Bobal existe outra *knickzone* que também dá origem a quedas magníficas. Nestas não é possível chegar tão próximo como nas Cascatas de Bilhó, mas a vista do topo não deixa se ser impressionante. Para além das quedas de água também se daria a conhecer as aldeias do Pioledo e do Bobal e a vale seco onde corria o rio Cabril antes de ser capturado. Este percurso, de forma educativa, deveria ser acompanhado de placas educativas que explicassem aos visitantes a formação das quedas, a evolução do terreno e a sua geologia.

São apenas algumas ideias que poderiam valorizar mais esta área da SA, serra que após largos meses de trabalho nunca me deixou de surpreender com novas particularidades e maravilhas que deveriam ser mais valorizadas e aproveitadas. Acima de tudo deveriam ser aproveitadas sem perder a identidade das aldeias e das gerações que aqui residem, sem danificar o património natural, geológico e geomorfológico único do Alvão.

6. Bibliografia

Amine, A., El Ouardi, H., Zebari, M., & El Makrini, H. (2020). Active tectonics in the Moulay Idriss Massif (South Rifian Ridges, NW Morocco): New insights from geomorphic indices and drainage pattern analysis. *Journal of African Earth Sciences, 167*, 103833.

Amrikazemi, A. (2010). Atlas of geopark and geotourism resources of Iran: geoheritage of Iran. *Geological Survey of Iran, Tehran*.

Batista, J. (1998). *Estudo neotectónico da zona de falha Penacova-Régua-Verin.* (Dissertação de Doutoramento). Universidade de Trás-os- Montes e Alto Douro, Vila Real.

Bierman, P. R., & Montgomery, D. R. (2014). *Key concepts in geomorphology*. New York, NY: W.H. Freeman and Company Publishers : A Macmillan Higher Education Company.

Bishop, P. (1995). Drainage rearrangement by river capture, beheading and diversion. *Progress in Physical Geography: Earth and Environment, 19*(4), 449-473.

Bradbury, J. (1993). A Preliminary Geoheritage Inventory of the Eastern Tasmania Terrane. *Report to Parks and Wildlife Service*.

Brilha, J. (2016a). Inventory and Quantitative Assessment of Geosites and Geodiversity Sites: a Review. *Geoheritage, 8*, 119-134. doi:10.1007/s12371-014-0139-3

Brilha, J. (2016b). Inventory and Quantitative Assessment of Geosites and Geodiversity Sites: a Review. *Geoheritage, 8*(2), 119-134.

Brocx, M., & Semeniuk, V. (2007). *Geoheritage and geoconservation - History, definition, scope and scale*.

Brum Ferreira, A. (1978). *Planaltos e montanhas do norte da Beira: estudo de geomorfologia*: Centro de Estudos Geográficos, Universidade de Lisboa.

Brum Ferreira, A. (1991). Neotectonics in Northern Portugal: a geomorphological approach. *Zeittschrift für Geomorphologie*, 73-85.

Castillo, M., Muñoz-Salinas, E., & Ferrari, L. (2014). Response of a landscape to tectonics using channel steepness indices (ksn) and OSL: A case of study from the Jalisco Block, Western Mexico. *Geomorphology, 221*, 204-214.

Christopherson, R. W., & Birkeland, G. H. (2018). *Geosystems : an introduction to physical geography* (Tenth edition. ed.). Hoboken, NJ: Pearson.

Dixon, G. (1996). *A reconnaissance inventory of sites of geoconservation significance on Tasmanian islands*.

Dowling, R., & Newsome, D. (2010). Geotourism a global activity. *Global Geotourism Perspectives. Goodfellow Publishers Limited, Oxford.*

Elorza, M. G. (2008). *Geomorfología*. Madrid: PEARSON ALHAMBRA.

Feio, M. (1948). Notas Geomorfológicas. *Boletim da Sociedade Geológica de Portugal, VII*, 33-54.

Forte, A. M., & Whipple, K. X. (2019). Short communication: The Topographic Analysis Kit (TAK) for TopoToolbox. *Earth Surf. Dynam., 7*(1), 87-95. doi:10.5194/esurf-7-87-2019

Gordon, J. E. (2018). Geoheritage, Geotourism and the Cultural Landscape: Enhancing the Visitor Experience and Promoting Geoconservation. *Geosciences, 8*(4), 136.

Goudie, A. (2004). *Encyclopedia of geomorphology*. London ; New York: Routledge : International Association of Geomorphologists.

Henriques, M., Reis, R., Brilha, J., & Mota, T. (2011). Geoconservation as an Emerging Geoscience. *Geoheritage, 3*, 117-128. doi:10.1007/s12371-011-0039-8

Honey, M. (2008). *Ecotourism and sustainable development : who owns paradise?* (2nd ed.). Washington, D.C.: Island Press.

Hose, T. (2012). 3G's for Modern Geotourism. *Geoheritage, 4*(2), 7-24.

Huggett, R. J. (2011). *Fundamentals of geomorphology* (3rd ed.). Milton Park, Abingdon, Oxon ; New York: Routledge.

Joyce, E. (2006). Geological heritage of Australia: selecting the best for Geosites and World Heritage, and telling the story for geotourism and Geoparks. *ASEG Extended Abstracts, 2006*, 1. doi:10.1071/ASEG2006ab078

Joyce, E. (2010). Australia's Geoheritage: History of Study, A New Inventory of Geosites and Applications to Geotourism and Geoparks. *Geoheritage, 2*, 39-56. doi:10.1007/s12371-010-0011-z

Kirby, E., & Whipple, K. X. (2012). Expression of active tectonics in erosional landscapes. *Journal of Structural Geology, 44*, 54-75. doi:10.1016/j.jsg.2012.07.009

Komoo, I. (2004). Geoheritage conservation and its potential for Geopark development in Asia-Oceania. *Warisan Geologi Malaysia (trans. Geological Heritage of Malaysia), Mohd Shafeea Leman and Ibrahim Komoo, eds. Bangi: LESTARI, UKM*, 221-230.

Martins, A. A., Cabral, J., Cunha, P. P., Stokes, M., Borges, J., Caldeira, B., & Martins, A. C. (2017). Tectonic and lithological controls on fluvial landscape development in central-eastern Portugal: Insights from long profile tributary stream analyses. *Geomorphology, 276*, 144-163.

Martins, B., & Pereira, A. (2018). Residents' perception and assessment of geomorphosites of the Alvão—Chaves region. *Geosciences, 8*(10), 381.

Migoń, P., & Pijet-Migoń, E. (2017). Viewpoint geosites — values, conservation and management issues. *Proceedings of the Geologists' Association, 128*(4), 511-522.

Panizza, M. (2001). Geomorphosites: Concepts, methods and examples of geomorphological survey. *Chinese Science Bulletin, 46*, 4-5. doi:10.1007/BF03187227

Pedrosa, A. d. S. (1993). *Serra do Marão : estudo de geomorfologia.* (Tese de Doutoramento). University of Porto, Porto.

Pereira, A., & Martins, B. (2018). *Interações entre o património geomorfológico e a paisagem cultural da Serra do Alvão: a perspectiva da Geomorfologia Cultural*.

Perron, J. T., & Royden, L. (2012). An integral approach to bedrock river profile analysis. *Earth Surface Processes and Landforms, 38*(6), 570-576.

Perron, J. T., & Royden, L. (2013). An integral approach to bedrock river profile analysis. *Earth Surface Processes and Landforms, 38*(6), 570-576.

Reynard, E. (2018). *Geoheritage : assessment, protection, and management*. Amsterdam, Netherlands ; Cambridge, Massachusetts: Elsevier.

Ruchkys, U. A. (2007). *Patrimônio geológico e geoconservação no Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais: potencial para a criação de um geoparque da UNESCO.* (Tese de Doutoramento). Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.

Sadry, B. N. (2009). *Fundamentals of Geotourism: with a special emphasis on Iran*. Tehran: Samt Organization publishers.

Semeniuk, V., & Semeniuk, C. (2001). Human impacts on globally to regionally significant geoheritage features of the Swan Coastal Plain and adjoining coastal zone, southwestern Australia. *Gondwana to Greenhouse: Australian Environmental Geoscience-The Australian Environment. Australian Journal of Earth Sciences Special Publication, 21*, 181-199.

Sharples, C. (2002). *Concepts and principles of geoconservation*.

Storti, F., Holdsworth, R. E., Salvini, F., & Geological Society of London. (2003). *Intraplate strike-slip deformation belts*. London: Geological Society.

Sullivan, S. (1997). Foreword. *Environment Australia Technical Series, 2*.

Teixeira, H. M. R., Cunha, P., Martins, A., & Gomes, A. (2013). *A identificação automática de Knickpoints nas bacias dos rios poio e cabril (bacia do Tâmega): vantagens e comparação de resultados*. Paper presented at the VI Congresso Nacional de Geomorfologia, Coimbra.

Wobus, C., Snyder, E., Johnson, N., Spyropolou, J., Crosby, K., Whipple, K., . . . Sheehan, D. (2006). Tectonics from topography: Procedures, promise, and pitfalls. *Geological Society of America Special Paper, 398*, 55-742398.