U.PORTO
FLUP FACULDADE DE LETRAS
UNIVERSIDADE DO PORTO

MESTRADO EM SISTEMAS DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA
E ORDENAMENTO DO TERRITÓRIO

Acumulações de blocos periglaciários da Serra da Cabreira: Análise morfológica com recurso a imagens de drone

Jorge Manuel Torres Meira

Setembro
2023

Jorge Manuel Torres Meira

Acumulações de blocos periglaciários da Serra da Cabreira: Análise morfológica com recurso a imagens de drone

Dissertação realizada no âmbito do Mestrado em Sistemas de Informação Geográfica e Ordenamento do Território

Orientada pelo Professor Doutor António Alberto Teixeira Gomes

Faculdade de Letras da Universidade do Porto

Ano 2023

Índice

Declaração de honra 6
Agradecimentos 8
Resumo (máximo 300 palavras) 9
Abstract 10
Índice de Figuras 12
Índice de Tabelas (ou Quadros) 15
Lista de abreviaturas e siglas 16
1.Introdução 18
1.1 Enquadramento teórico 20
1.2 Ambientes glaciares e periglaciares (processos e formas principais) 23
1.3 Enquadramento Geográfico e Geomorfológico - Serra da Cabreira 33
1.4 Fotogrametria e Deteção Remota 36
1.5 Fotogrametria com recurso a Veículo Aéreo Não Tripulado (VANT) 39
1.6 O uso de VANT no estudo de formas periglaciares (com foco nos rockslope e blokslope) 41
2. Metodologia de aquisição e processamento de dados UAV 43
2.1 Aquisição de dados de UAV 45
2.2 Processamento de dados 52
3. Resultados 58
3.1 Vestígios de Blockslope na Serra da Cabreira 58
3.2 Análise morfológica dos Blockslope na Serra da Cabreira 60
4. Acumulações de blocos de origem periglaciária na Serra da Cabreira e o Ordenamento do Território 74
4.1 Análise dos Instrumentos de Gestão Territorial 74
4.2 Geoconservação 80
5. Considerações Finais 83
6. Referências Bibliográficas 86
Anexos 92
Anexo 1 92

Declaração de honra

Declaro que a presente dissertação é de minha autoria e não foi utilizada 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.

Porto, setembro de 2023

Jorge Manuel Torres Meira

Agradecimentos

Em primeiro lugar, agradeço ao meu orientador Professor Doutor António Alberto Teixeira Gomes, Docente do Departamento de Geografia da Faculdade de Letras da Universidade do Porto, pelo incentivo, paciência, disponibilidade, e fundamentalmente todo o apoio didático e tutorial prestado nas saídas de campo e ao longo do desenvolvimento desta dissertação.

Aos Geógrafos, Miguel Marques, Edgar Figueira e Jorge Costa, pela partilha de conhecimento e colaboração.

A todas e a todos os Professores, instituições e pessoas que de alguma forma contribuíram para a minha formação académica e pessoal.

À minha família, especialmente esposa e filhos.

Aos colegas do MSIGOT e amigos.

Resumo (máximo 300 palavras)

As glaciações quaternárias aconteceram aproximadamente entre 2,6 milhões de anos e 11,7 mil anos atrás. Durante o máximo arrefecimento da última glaciação, que terá ocorrido entre os 20 e os 18 mil anos antes do presente, verificaram-se significativas alterações climáticas, derivadas do arrefecimento geral da atmosfera, provocando o aumento das zonas climáticas frias e o aumento da dimensão dos glaciares de montanha. A Serra da Cabreira, localizada maioritariamente no município de Vieira do Minho, apresenta marcas de acumulação e da permanência de neve no solo, associados à ocorrência de fenómenos de erosão glaciar que se terão verificado nos tempos quaternários. Nas vertentes Norte e Este do Talefe-Chã de Lousas-Toco, constata-se a presença de substrato rochoso polido, depósitos morénicos, depósitos heterométricos de blocos angulosos e boleados, e, uma cobertura de lajes graníticas nos topos aplanados e nas vertentes envolventes ao cume do Toco (altitude máxima de 1138 metros). A presente dissertação, pretende aplicar uma metodologia de análise morfológica às acumulações de blocos de vestígios periglaciários do tipo "Blockslope" presentes na Serra da Cabreira. Como etapa primordial, foi utilizada a tecnologia dos Veículos Aéreos Não Tripulados (VANT) na aquisição de dados, e o processamento das imagens obtidas resultou na produção de ortofotos. Para a implementação e desenvolvimento da metodologia, foram adicionadas as ortofotos a software de Sistemas de Informação Geográfica (SIG), e elaboradas as análises geoespaciais a 20 blocos das 7 áreas identificadas com Blockslope. Finalmente, analisaram-se os instrumentos de gestão territorial, particularmente o Plano Diretor Municipal (PDM) e o Inventário de Sítios com Interesse Geológico-Geossítios, no sentido de identificar a situação dos Blockslope no âmbito da Geoconservação.

Palavras-chave: Periglaciar, Blockslope, Cabreira, VANT, SIG.

Abstract

The Quaternary glaciations took place approximately between 2.6 million years ago and 11,700 years ago. During the maximum cooling of the last glaciation, which occurred between 20 and 18 thousand years before the present, there were significant climatic changes due to the general cooling of the atmosphere, which led to an increase in cold climatic zones and an increase in the size of mountain glaciers. The Serra da Cabreira, located mainly in the municipality of Vieira do Minho, shows signs of accumulation and the permanence of snow on the ground, associated with the occurrence of glacial erosion phenomena that took place in Quaternary times. On the northern and eastern slopes of the Lousas-Toco Talefe, there is polished bedrock, morainic deposits, heterometric deposits of angular and rounded blocks, and a cover of granite slabs on the flat tops and on the slopes surrounding the Toco summit (maximum summit with 1138 metres). This dissertation aims to apply a morphological analysis methodology to the accumulations of blocks of periglacial remains of the "Blockslope" type found in the Serra da Cabreira. Unmanned Aerial Vehicle (UAV) technology was used as the primary step in data acquisition and the processing of the images obtained, resulted in the production of orthophotos. To implement and develop the methodology, the orthophotos were added to Geographic Information Systems (GIS) software, and geospatial analyses were carried out on 20 blocks of the 7 areas identified as Blockslope. Finally, the territorial management instruments were analysed, particularly the Municipal Master Plan (PDM) and the Inventory of Sites of Geological Interest - Geosites, in order to identify the situation of the Blockslope in the context of Geoconservation.

Key-words: Periglaciar, Blockslope, Cabreira, UAV.

Índice de Figuras

Figura 1 - Fluxograma das etapas de trabalho conducentes à dissertação. 20

Figura 2 - Composição da Criosfera (Fonte: Lemke et. al., 2007, adaptado de French, 2018, fig. 1.4). 23

Figura 3 - A) Variação do isótopo de oxigénio ∂18O em relação à insolação a 21 de junho na latitude 65°N e média ponderada de gelo e obliquidade. B) Registo LSR - Linear Sedimentation Rates, os círculos indicam os pontos de controlo da idade (Fonte: Lisiecki e Raymo, 2005). 25

Figura 4 - a) Evolução ao longo dos tempos da insolação recebida a 21 junho (verão) na latitude 65°N; b) Evolução dos registos de concentração do isótopo de oxigénio $\partial^{18}O$ em sedimentos marinhos e a correlação com o volume de gelo nos glaciares (Fonte: Lisiecki e Raymo, 2005, adaptado de Cacho, 2022, fig. 2.2). 26

Figura 5 – Estágios e subestágios do isótopo marinho $\partial^{18}O$ (Fonte: Railsback et al., 2015, fig. 3). 26

Figura 6 - Morfologia de encostas existentes em ambientes periglaciais: a) talude de inclinação de face livre; b) talude retilíneo coberto de detritos; c) talude côncavo e convexo com manto de detritos; d) talude de perfil escalonado; e) talude em forma de frontão (Adaptado de French, 2018, p. 276). 28

Figura 7 - Etapas da atividade periglaciar desde a última glaciação nas serras ibéricas com maior elevação (Fonte: Oliva et al, 2016, p. 191). 29

Figura 8 - Exemplos de formas de relevo glacial em montanhas da Galicia: a) Cristas morénicas (Glaciar de Palleiros); b) circo glacial (Castros – Courel); c) Moreira (Paderne Valley); d) Depósitos estratificados em talude (Castro-Portela), (Fonte: Pérez-Alberti, 2021). 30

Figura 9 - Exemplos de tipos de Tor, morfologia glacial, existente em Dartmoor: a) Pequeno Tor; b) Tor de tipo baixo; c) Tor e o efeito da crioclastia nas rochas no solo; d) Tor em topo de colina com encosta de blocos formado por crioclastia (Fonte: Harriot e Evans, 2022, fig. 2 e 3 – adaptado). 31

Figura 10 - Exemplos de formas de relevo glacial e periglacial existentes na Serra da Peneda - Gerês: a) Bornhardt; b) Lagoa glaciar; c) Vale glaciar em U; d) blocos erráticos; e) Block slope (encosta de blocos) ou Block field (campo de blocos) – periglaciar; f) Till subglaciar (Fonte: Pereira e Pereira, 2020). 32

Figura 11 - Hipsometria da Serra da Cabreira (área de estudo) e norte de Portugal Continental. 33

Figura 12 – Mapa Geológico da Serra da Cabreira. 35

Figura 13 - Mapa de declives da área envolvente à Serra da Cabreira. 35

Figura 14 - Uso e ocupação do solo na área envolvente à Serra da Cabreira (Fonte: COS 2018). 36

Figura 15 - Aplicabilidade de alguns tipos de sensores utilizados em plataformas de UAV: Visible, Near infra-red, Multispectral, Hyperspectral, LiDAR, Thermal e SAR (Fonte: Berra & Peppa, 2020, Table 1, pág. 534 - adaptado). 41

Figura 16 – Resultado de dados adquiridos com drone em Laxe Brava, Espanha: a) Ortofoto; b) Fotografia oblíqua (Fonte: Pérez-Alberti & Trenhaile, 2014, figura 3, pág. 107 – adaptado). 42

Figura 17 - Extrato de fotografias aéreas (Ordnance Survey - direitos reservados) mostrando exemplos de vestígios periglaciares delimitados por linhas tracejadas a preto, em Bordmin Moor – Inglaterra (Fonte: Evans et al., 2017, figura 5, pág. 346 – adaptado). 42
Figura 18 – Imagens de alta resolução UAV, permitem detetar vegetação esparsa nas duas de areia: a) Pequeno círculo; b) Vegetação esparsa no interior do círculo com diâmetro de 0,83 m presente na imagem a) ; c) O branco representa a areia enquanto o preto representa a vegetação (Fonte: Hugenholtz et al., 2013, figura 8, pág. 22 – adaptado). 43
Figura 19 - Fotos de campo das morfologias da Serra da Cabreira: a) Thor e granito pseudoestratificado; b) blockstream; c) blockslope e; d) lugar de Azevedas, no centro da imagem. 44
Figura 20 - Etapas metodológicas seguidas neste trabalho. 45
Figura 21 - Phantom 4 Pro-DJI 46
Figura 22 - Vestígios periglaciares na Serra da Cabreira (Fonte: Daveau & Devy-Vareta, 1985). 47
Figura 23 - Blockslope na Serra da Cabreira (Fonte: Google Earth-Pro, adaptado). 48
Figura 24 - Blocos erráticos na Serra da Cabreira (Fonte: Google Earth-Pro, adaptado). 49
Figura 25 - Plano de voo 1, área de Azevedas - Serra da Cabreira (Fonte:www.dronedeploy.com). 51
Figura 26 - Plano de voo 4, vertente envolvente do Toco - Serra da Cabreira (Fonte:www.dronedeploy.com). 52
Figura 27 - Fluxo de trabalho no processamento de dados. 54
Figura 28 - Orto 1 (altitude voo: 30 metros) - Serra da Cabreira – Azevedas. 55
Figura 29 - Orto 2 (altitude voo: 60 metros) - Serra da Cabreira – Toco. 56
Figura 30 - Orto 3 (altitude voo: 30 metros) - Serra da Cabreira – Toco. 57
Figura 31 – Orto 3, Serra da Cabreira - Delimitação das áreas com Blockslope. 59
Figura 32 – Os três eixos da metodologia: A) comprimento; B) largura; C) Orientação 61
Figura 33 – Blockslope nas áreas delimitadas: a) Identificação dos 20 maiores blocos nas 7 áreas; b) Zoom na área 5. 62
Figura 34 – Dimensões dos 20 maiores blockslope na área 5. 63
Figura 35 – Determinação da orientação do segmento (comprimento) dos 20 maiores blocos, pontos colaterais. 64
Figura 36 – Determinação da orientação do segmento (comprimento) dos 20 maiores blocos, pontos subcolaterais. 64
Figura 37 – Dimensões e orientação dos 20 maiores Blockslope na área 1. 65
Figura 38 - Dimensões e orientação dos 20 maiores Blockslope na área 2. 67
Figura 39 - Dimensões e orientação dos 20 maiores Blockslope na área 3. 68
Figura 40 - Dimensões e orientação dos 20 maiores Blockslope na área 4. 69
Figura 41 - Dimensões e orientação dos 20 maiores Blockslope na área 5. 70
Figura 42 - Dimensões e orientação dos 20 maiores Blockslope na área 6. 71

Figura 43 - Dimensões e orientação dos 20 maiores Blockslope na área 7. 72
Figura 44 - Extrato da Carta de Qualificação Funcional do Solo, folha 44 V13, 2017 – PDM de Vieira do Minho. 75
Figura 45 – Extrato da Carta Condicionantes, folha 44 V15, 2014 – PDM de Vieira do Minho. 75
Figura 46– Extrato da Carta de Salvaguardas, folha 44 V13, 2014 – PDM de Vieira do Minho. 76
Figura 47 - Extrato da Carta de Património, folha 44 V12, 2014 – PDM de Vieira do Minho. 76
Figura 48 – Mapa da localização dos BlockSlope, Aerogeradores e Cabanas de Pastores, no Toco, Serra da Cabreira. 77
Figura 49 - Cabanas de Pastores na Serra da Cabreira: a) Cabana Fundevila ; b) Cabana Manuel Dias ; c) Cabana Velha. 78
Figura 50 - Lajes graníticas no topo aplanado do "Tor", Toco - Serra da Cabreira. 78
Figura 51 - Encosta de blocos "Blockslope", Toco – Serra da Cabreira (Área 7 do ortofoto_30m). 79
Figura 52 – Conjunto de "Blockslope", Toco – Serra da Cabreira. (Área 7 do ortofoto_30m). 79
Figura 53 - Parque eólico na Serra da Cabreira: a) Construção de via de acesso; b) Torres eólicas (Fonte: Silva et al., 2006 – adaptado). 82

Índice de Tabelas (ou Quadros)

Não foi encontrada nenhuma entrada de índice.

TABELA 1 – RESUMO DA AQUISIÇÃO DE DADOS POR UAV – DJI - PHANTOM 4 PRO 50
TABELA 2 – DIMENSÃO DAS ÁREAS DAS LAJES DELIMITADAS ATRAVÉS DA ORTOFOTO 3. 58
TABELA 3 - IDENTIFICAÇÃO NUMÉRICA DOS SENTIDOS DE ORIENTAÇÃO. 65
TABELA 4 - DIMENSÕES E ORIENTAÇÃO DOS BLOCKSLOPE NA ÁREA 1. 66
TABELA 5 - DIMENSÕES E ORIENTAÇÃO DOS BLOCKSLOPE NA ÁREA 2. 67
TABELA 6 - DIMENSÕES E ORIENTAÇÃO DOS BLOCKSLOPE NA ÁREA 3. 68
TABELA 7 - DIMENSÕES E ORIENTAÇÃO DOS BLOCKSLOPE NA ÁREA 4. 69
TABELA 8 - DIMENSÕES E ORIENTAÇÃO DOS BLOCKSLOPE NA ÁREA 5. 70
TABELA 9 - DIMENSÕES E ORIENTAÇÃO DOS BLOCKSLOPE NA ÁREA 6. 71
TABELA 10 - DIMENSÕES E ORIENTAÇÃO DOS BLOCKSLOPE NA ÁREA 7. 72
TABELA 11 – RESUMO DAS DIMENSÕES E ORIENTAÇÃO DOS 20 MAIORES BLOCKSLOPE DAS 7 ÁREAS DE ESTUDO. 73

Lista de abreviaturas e siglas

AAN – Autoridade Aeronáutica Nacional

AIncA) – Avaliação de Incidências Ambientais

ANAC – Autoridade Nacional da Aviação Civil

ASP - *American Society of Photogrammetry*

CGP – Carta Geológica de Portugal

COS – Carta de Uso e Ocupação do Solo

DEM - *Digital Elevation Model*

DSM - *Digital Surface Model*

EIA – Estudo de Impacte Ambiental

ETRS89 - *European Terrestrial Reference System 1989*

FLUP - Faculdade de Letras da Universidade do Porto

IGT – Instrumentos de Gestão Territorial

LIA - *Little Ice Age* (Pequena Idade do Gelo 1450-1850)

LGM - *Last Glacial Maximum* (Último Máximo Glaciar)

LNEG – Laboratório Nacional de Energia e Geologia

MDT - Modelo Digital de Terreno

MDS - Modelo Digital de Superfície

MIS – *Marine Isotope Stage* (Estágio de Isótopo Marinho)

NW – Noroeste

OT – Ordenamento do Território

PDM – Plano Diretor Municipal

PGM – *Penultimate Glacial Maximum* (Penúltimo Máximo Glaciar)

KA - *Kiloannum* (mil anos)

KM – Quilómetros

REN – Rede Ecológica Nacional

UAS - *Unmanned Aerial Systems* (Sistema aéreo não tripulado)

UAV - *Unmanned Aerial Vehicle* (Veículo aéreo não tripulado)

UP - Universidade do Porto

SfM – Structure-from-Motion (Estrutura a partir do Movimento)

SIG - Sistemas de Informação Geográfica

VANT - Veículo Aéreo Não Tripulado

1. Introdução

As glaciações quaternárias, que se iniciaram há cerca de 2,6 milhões de anos e terminaram há 11,7 mil anos, provocaram modificações na morfologia da superfície terrestre, em curtos intervalos de tempo, à escala geológica. No máximo arrefecimento da última glaciação, que ocorreu entre os 20 e os 18 mil anos atrás (Ferreira, 2000, p. 90), registaram-se significativas alterações climáticas, tais como: arrefecimento geral da atmosfera; formação de *Inlandsis*; descida do limite das neves perpétuas nas regiões temperadas e correlativo desenvolvimento dos glaciares de montanha; formação de largas faixas de *permafrost*; descida do limite da floresta em latitude e altitude com correlativa expansão da zona fria; descida do nível geral dos oceanos e arrefecimento das águas nas latitudes extratropicais (Ferreira, 2000, p. 90). Concluindo, aconteceu um acentuado alargamento da zona fria e uma forte contração da zona temperada (Ferreira, 2000, p. 91).

Na Serra da Cabreira, localizada no município de Vieira do Minho, o frio quaternário, em função das condições favoráveis, regionais e locais aí verificadas, teve especial influência na geomorfologia da vertente norte, constatando-se a presença de marcas de acumulação e de permanência de neve no solo, assim como, de substrato rochoso polido, depósitos morénicos e depósitos heterométricos de blocos angulosos e boleados, bem como a presença de uma cobertura de lajes graníticas nos topos aplanados de Talefe-Chã e de Lousas-Toco e nas suas vertentes ocidentais (Vieira et al., 2005).

Uma tecnologia versátil de aquisição de dados para a observação terrestre, é a utilização de Veículos Aéreos Não Tripulados (VANT), comummente designados de drones e que estão preparados para a aquisição de imagens e vídeo. A utilização de drones em variadas áreas científicas (Zarco-Tejada et al., 2014; Colomina I. & Molina P., 2014; Clapuyt F., 2016; Kardasz P. et al., 2016; Baquersad J. et al., 2017; Sahebdivani S. et al., 2020) atesta a fiabilidade desta tecnologia.

A presente dissertação tem como objetivos: i) adquirir dados de blocos periglaciários (tipo blockslope) na Serra da Cabreira, através da utilização de um VANT e efetuar o processamento das imagens através da geração de ortofotos de grande resolução ; ii) desenvolver uma metodologia de análise comparativa de acumulações dos blockslope utilizando a(s) ortofoto(s) ; e, iii) analisar em termos de geopatrimónio a condição dos blockslope nos instrumentos legais de ordenamento do território vigentes na área de estudo.

A primeira etapa, para além do enquadramento bibliográfico, compreendeu a pesquisa e identificação de áreas morfológicas onde existem vestígios periglaciares do tipo macrogelifractos tais como, blockslope, rockslope e blockstream, (acumulações de blocos na versão portuguesa), consultando artigos e livros científicos, e recorrendo à visualização dos potenciais locais através do site Google Earth Pro, disponível em: (https://www.google.com/intl/pt-PT/earth/versions/#earth-pro)

No segundo momento, em áreas específicas e previamente definidas, efetuou-se a aquisição de dados com recurso a VANT e o seu processamento. Foram planeados e realizados voos com drone nas áreas selecionadas, processadas as imagens em software Agisoft Metashape e produzidas as respetivas ortofotos. Seguiu-se a visualização e apreciação das ortos, tendo-se identificado várias áreas com acumulações de blocos de provável origem periglaciar.

Na terceira fase, implementou-se uma metodologia de análise morfológica e morfométrica dos *blockslope*. Para tal, nos locais de acumulação identificados foram delimitadas áreas de conjuntos de *blockslope,* procedendo-se ao registo de medições dos parâmetros comprimento, largura e orientação. Por último, procedeu-se à análise e interpretação dos resultados.

Finalmente, no âmbito do ordenamento do território e da geoconservação, procedeu-se à consulta dos documentos legislativos, no sentido de conhecer a classificação dos vestígios periglaciários em termos de proteção e conservação.

A figura 1, apresenta uma síntese das etapas deste documento.

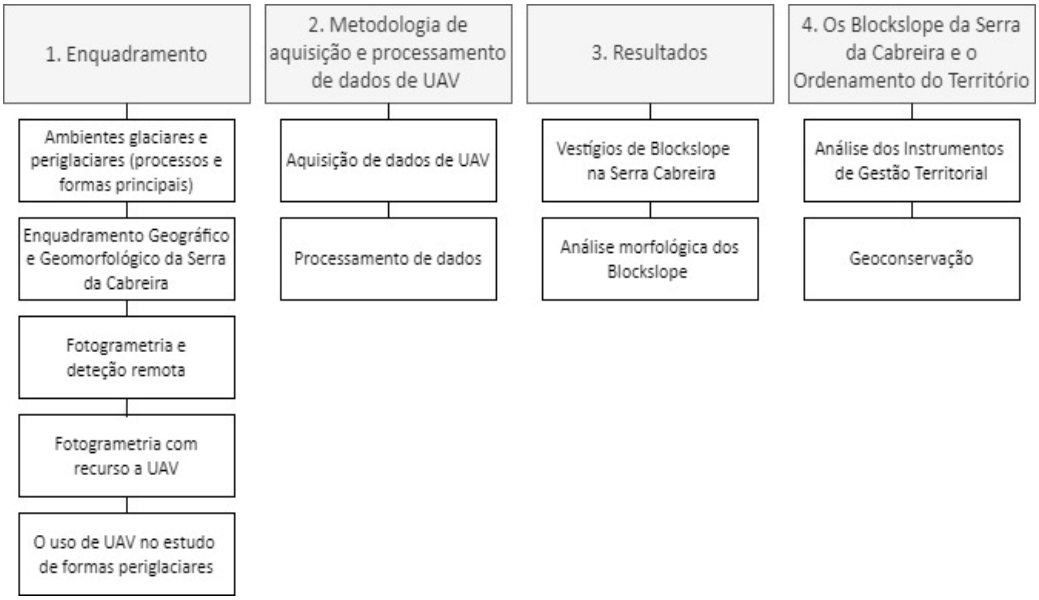


Figura 1 - Fluxograma das etapas de trabalho conducentes à dissertação.

1.1 Enquadramento teórico

Atualmente, nas cadeias montanhosas da Península Ibérica acima de 2000 metros de altitude, somente nos Pirenéus, podemos encontrar conjuntos de gelo permanente em forma de glaciar. No entanto, durante o Quaternário final as áreas glaciares ibéricas sofreram alterações consideráveis na sua extensão e quantidade (Oliva et al., 2019).

No noroeste da Península Ibérica, as montanhas a partir de 1300 metros de altitude, durante a fase final do Plistocénico, registaram a presença de glaciares (Oliva et al., 2016). O relevo e os depósitos glaciares existentes em algumas serras ibéricas, demonstram a existência de processos glaciares em períodos passados (Oliva et al., 2019).

Segundo Ferreira (2000), *"As glaciações do Plistocénico traduziram-se em manifestações radicais da geografia física da Terra"*. No período de máximo arrefecimento da última glaciação, entre 20 000 e 18 000 anos atrás, verificaram-se as alterações ambientais mais significativas em relação às condições presentes na superfície da Terra.

Segundo o Atlas dos Paleoclimas e Paleoambientes (Frentzel et al., citado por Brum Ferreira, 2000, p. 93) , "*o limite meridional do permafrost descontínuo e esporádico não ultrapassaria, no período de Máximo Arrefecimento da Última Glaciação, o sul de França, e que apenas o Norte de Espanha seria afetado, de maneira generalizada por um solo estacional profundo"*. Naturalmente em ambiente de montanha, as condições poderiam ser de maior rigor climático como comprovam os vestígios glaciares e periglaciares verificados em algumas montanhas da Península Ibérica (Ferreira, 2000).

Em Portugal, a glaciação Plistocénica da serra da Estrela (altitude máxima de 1993 metros), viria a ser conhecida através das investigações de Lautensach (1932), indicando que em 1884 Vasconcelos Pereira Cabral a ela se tinha referido como glaciação. Lautensach apresentou as principais conclusões num esboço geomorfológico na escala aproximada de 1:100 000 (Daveau, 1997).

Em 1971, Daveau, procedeu a novos estudos dos vestígios de glaciação, beneficiando do levantamento aéreo, produziu um novo mapa à escala 1: 25 000 (Daveau, 1997).

Entre 1985 e 1992, investigadores espanhóis e portugueses, (Brum Ferreira, A.; Vidal Romani, J.R.; Vilaplana, J.; Rodrigues, M. L.; Zêzere, J. L.; Monge, C.) desenvolveram um estudo e procederam a um levantamento cartográfico para identificação detalhada das formas, depósitos glaciários e periglaciários da serra do Gerês-Xurés (altitude máxima de 1548 metros), elaborado à escala 1:5000 e 1:10000. Os autores concluíram que: "As *terras altas do Gerês não apresentam um claro modelado glaciário. Dos circos, apenas o de Cocões de Concelinho é uma forma típica*…" em relação aos depósitos glaciares é referido que: *" Não há dúvida que são os depósitos os melhores indicadores da dinâmica glaciária",* descrevendo-os como sendo de dois tipos, essencialmente: *" acumulações de blocos, em forma de moreia"* e *"depósitos arenosos, com características de till subglaciário",* concluindo que, apesar de os levantamentos realizados não abrangerem a totalidade da extensão da serra do Gerês-Xurés, é indiscutível a existência de manifestações glaciárias, essencialmente do tipo de circo e de vale, nas vertentes minhota e galega (Ferreira et. al. , 1992).

A possibilidade da glaciação plistocénica ter ocorrido na serra da Cabreira (altitude máxima de 1262 metros), foi inicialmente apresentada por Daveau nos estudos que realizou em 1977 e 1980, e, posteriormente em 1985, Daveau & Devy-Vareta concluíram que, nos tempos quaternários, ter-se-ão verificado condições favoráveis a processos de erosão glaciar, concretamente no extremo da serra (Vieira, 2005).

Em 1985, Daveau & Devy-Vareta, dizem-nos que os planaltos da Cabreira e do Toco (altitude máxima de 1138 metros), assim como as suas vertentes ocidentais, sofreram intensa gelifração, os cumes funcionaram como local de acumulação de neves persistentes, tratando-se de uma glaciação marginal, possibilitada pelas condições regionais e locais excecionalmente favoráveis. A probabilidade de glaciação no extremo norte da Serra da Cabreira foi estabelecida por Daveau (1977), com base na posição e no local do maciço e em observações efetuadas durante o reconhecimento aéreo.

O resultado das condições geográficas regionais e locais, favoreceram a glaciação na serra da Cabreira comparativamente com outras serras mais elevadas. A Serra da Cabreira recebe precipitações que podem alcançar os 3500 mm nos pontos mais altos e que poderiam ter sido superiores, e em forma de neve, no período das glaciações (Vieira, 2005). O declive acentuado e a exposição de algumas vertentes, possibilitaram a criação de abrigos face à insolação e aos ventos predominantes, favorecendo o desenvolvimento de nevados e de línguas glaciares (Vieira, 2005).

Das formas resultantes da acumulação de neve e gelo na Serra da Cabreira, podemos distinguir as três principais: a língua glaciária de Gaviões, as vertentes norte e leste do planalto de Toco que apresentam uma série de circos glaciares (Soutinho, Espanado e Pontilhão) e, a leste do planalto culminante, encontra-se a área de glaciação das Azevedas (Daveau & Devy-Vareta, 1985).

Segundo, Pereira & Bento-Gonçalves (2001), é evidente que se desenvolveram línguas glaciárias em algumas vertentes da Serra da Cabreira, nos pequenos vales de Pontilhão, Espanado e Soutinho, situados na vertente Norte e Noroeste de Toco e principalmente no vale de Gaviões e vertente de Azevedas, as quais seriam de menor dimensão comparativamente com os vestígios encontrados na Serra da Peneda e Gerês,

onde as línguas glaciares seriam bastante extensas e teriam espessuras aproximadas de 150 metros. A língua glaciária de Gaviões teria de comprimento pouco mais de um quilómetro e no máximo 30 metros de espessura.

Para Vieira (2005), *"A ação do frio quaternário na Serra da Cabreira não se limitou à acumulação de gelo nas vertentes abrigadas, sendo muito mais evidentes os vestígios da ação periglaciar."*

1.2 Ambientes glaciares e periglaciares (processos e formas principais)

As superfícies da Terra, permanentemente ou sazonalmente congeladas, em que a água permanece grande parte do tempo no estado sólido, denominam-se de Criosfera, sendo constituída por: neve, gelo de rios e lagos, gelo marinho, glaciares e calotas polares, solo gelado, plataformas e lençóis de gelo, ilustrado na figura 2 (French, 2018, p. 9).

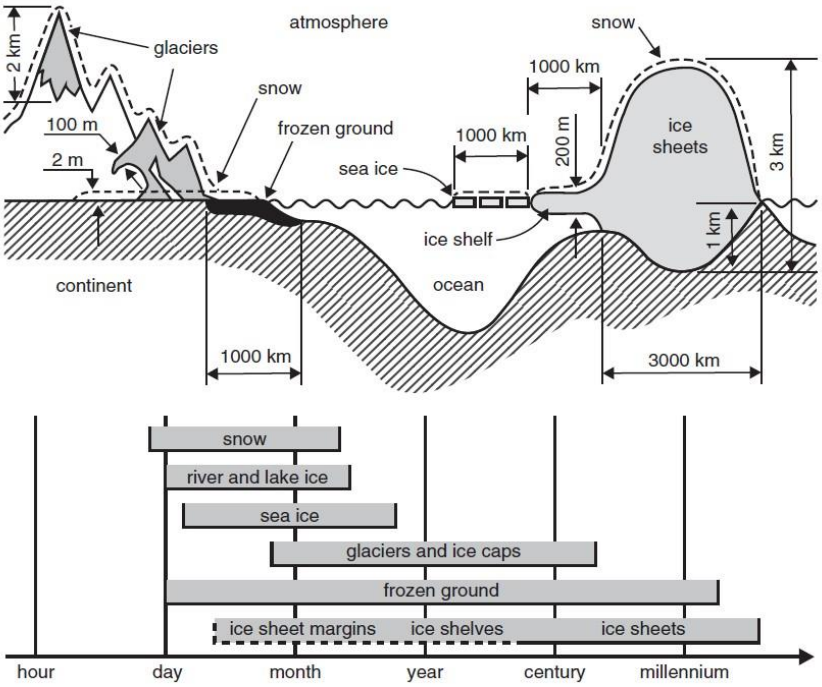


Figura 2 - Composição da Criosfera (Fonte: Lemke et. al., 2007, adaptado de French, 2018, fig. 1.4).

A origem do termo “periglacial” remonta a 1909, quando o Geólogo Polaco Walery Von Lozinski o empregou pela primeira vez para caraterizar a desintegração mecânica de arenitos na cordilheira de Gorgany, nos montes Cárpatos, na Roménia (French, 2018, p. 3). Posteriormente, em 1912, após o congresso geológico de Estocolmo (1910) e a viagem de campo a Svalbard (1911), Lozinski introduziria o conceito de “zona periglacial” para se referir às condições geomorfológicas na periferia de camadas de gelo e glaciares que existiram durante o Plistocénico (French, 2018, p. 3). Para Tricart (1968, p. 830), no meio morfogenético periglacial, as oscilações gelo-degelo são dominantes e, em todos os ambientes periglaciais, os solos apresentam-se sazonalmente ou perenemente congelados. Muller (1943), refere que os solos permanentemente congelados durante mais de dois anos denominam-se “permafrost”. E, segundo Péwé (1969, p.4), nos ambientes periglaciares, o “permafrost” é comum e praticamente constante nas zonas periglaciais ativas (French, 2018, pp. 3-5).

Em termos de extensão espacial e clima regional, o “permafrost” pode ser classificado em três categorias: latitudinal ou polar (altas latitudes polares) ; de planalto ou montanhoso (áreas de elevada altitude como a Ásia Central); e, permafrost Alpino (regiões montanhosas em zonas de latitude média e baixa, mas a grande altitude). Existe também o permafrost submarino (French, 2018, p. 93).

Em alguns ambientes periglaciares, em que o frio é menos intenso, gera-se uma geada sazonal profunda, com 1,5 a 2,5 metros de espessura, durante os meses de inverno, descongelando completamente até ao término do verão (French, 2018, p. 65).

Os intervalos dos ciclos glaciais e interglaciais e a evolução do gelo no planeta, foram apresentados por Lisiecki & Raymo (2005) com base no estudo da razão dos isótopos de oxigénio ($\partial^{16}O$) e ($\partial^{18}O$) presentes em sedimentos de microrganismos marinhos. Nos períodos em que os glaciares aumentam a quantidade de gelo, o nível médio do mar desce e o rácio de concentrações de isótopos 18 presentes no oceano aumenta, verificando-se a diminuição do isótopo 16, que sendo mais leve, evapora mais facilmente incorporando o processo de formação de nuvens (Cacho, 2022, Chapter 2, pp. 14-15).

Em 2005, Lisiecki & Raymo, apresentaram um estudo do registo das fases isotópicos (ð^{18}O), relativo aos 5,3 milhões de anos atrás. O modelo simples de aumento e diminuição de glaciares baseado na insolação a 21 junho na latitude 65°N e o modelo de idade em função das taxas de sedimentação linear (*LSR - Linear Sedimentation Rates*), no período compreendido entre 1,8 e 1,1 milhões de anos atrás, estão representados na figura 3.

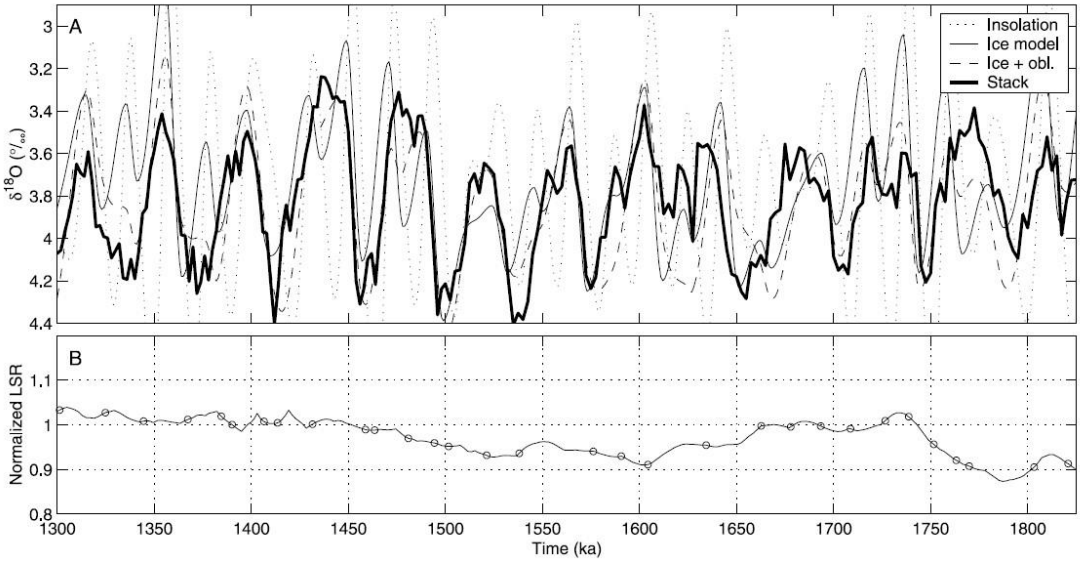


Figura 3 - A) Variação do isótopo de oxigénio ð18O em relação à insolação a 21 de junho na latitude 65°N e média ponderada de gelo e obliquidade. B) Registo LSR - Linear Sedimentation Rates, os círculos indicam os pontos de controlo da idade (Fonte: Lisiecki e Raymo, 2005).

Muito antes, Milankovitch (1930), colocou a hipótese de que seriam os movimentos orbitais planetários que estavam na origem dos ciclos glaciares e interglaciares, procurou estimar os efeitos dos ciclos da excentricidade orbitral, obliquidade e precessão axial da terra, durante o tempo de insolação que atingiria o hemisfério norte na latitude 65°N durante o verão. O balanço da radiação solar recebida nesta latitude poderia ser determinante no crescimento ou recuo dos glaciares. Esta hipótese só pôde ser testada quando estiveram disponíveis registos climáticos contínuos e com controlo cronológico, que permitiram analisar as alterações de insolação e o volume de gelo no planeta. Hays, Imbrie & Shackleton (1976), testaram a hipótese de Milankovitch, usando os registos marinhos do isótopo de oxigénio (ð^{18}O), tendo

comprovado, de facto, a influência dos três movimentos orbitais nos ciclos glaciares e interglaciares no registo paleoclimático 21, 40 e 100 Ka, ilustrado na figura 4 (Cacho, 2022, Chapter 2, pp. 15-16).

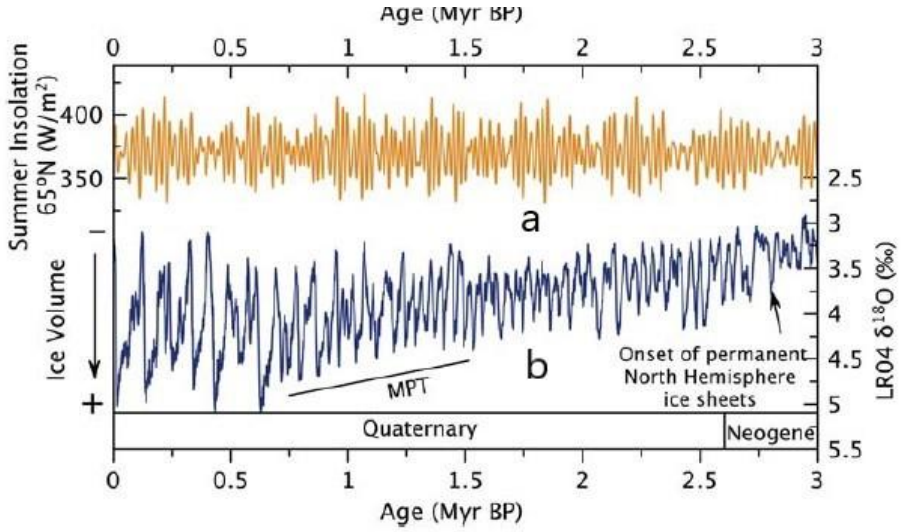


Figura 4 - a) Evolução ao longo dos tempos da insolação recebida a 21 junho (verão) na latitude 65°N; b) Evolução dos registos de concentração do isótopo de oxigénio ò^{18}O em sedimentos marinhos e a correlação com o volume de gelo nos glaciares (Fonte: Lisiecki e Raymo, 2005, adaptado de Cacho, 2022, fig. 2.2).

Railsback (2015), propõe um esquema otimizado de apresentação do registo dos estágios e subestágios do isótopo marinho (ò^{18}O), identificando os *Marine Isotope Stage* (MIS), para o último milhão de anos (figura 5) . Neste sistema de nomenclatura, são utilizadas letras para identificar os subestágios, definidos por Shackleton (1969), baseando-se no registo das taxas de sedimentação linear (LSR) dos isótopos presentes nos sedimentos marinhos, proposto por Lisiecki & Raimo (2005).

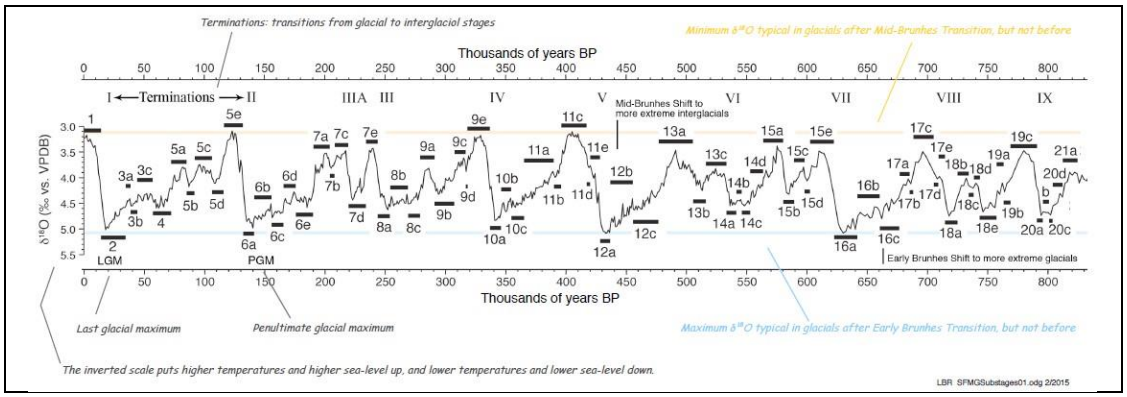


Figura 5 – Estágios e subestágios do isótopo marinho ò^{18}O (Fonte: Railsback et al., 2015, fig. 3).

O esquema da nomenclatura dos estágios e subestágios é definido relativamente à pilha de dados LR04 – *Benthic Stack*, um registo dos isótopos de oxigénio em bentónicos marinhos ($\partial^{18}O$), que representam em grande medida as variações do volume de gelo presente nos glaciares e consequentemente o aumento ou diminuição do nível médio de água no mar (Lisiecki & Raimo, 2015).

Os MIS, de acordo com Ehlers et al., (2018), correspondem a sequências sedimentares marinhas e terrestres dos isótopos de oxigénio 16 e 18, presentes em espécies marinhas e nas calotas polares, estudadas em várias partes do globo. A variação do rácio do isótopo marinho ($\partial^{18}O$), permite correlacionar períodos de estágios interglaciais e glaciais (Figueira, 2022, pp. 27-28).

Os limites do ambiente periglaciar e glaciar variam conforme os critérios utilizados. A fronteira entre glaciar e não glaciar, em geral, é definida pela comunidade científica de duas formas: a) pela presença ou ausência de solo permanentemente gelado; b) pela linha de árvores delimitadora das ecozonas de tundras ou de deserto polar, sendo a linha de árvores uma área com mais de 50 a 100 Km de largura que separa o limite biológico da floresta contínua do limite absoluto das espécies arbóreas (French, 2018, p. 17).

French (2018), seguindo os limites propostos por Willams (1961) para a solifluxão e fenómenos em solo modelado, entende existirem condições periglaciais sempre que a temperatura média anual do ar seja inferior a 3° celsius.

Em primeiro lugar, o processo de congelamento dos solos depende: a) do tipo de solo; b) da condutividade térmica; e c) do teor de humidade existente. Em segundo lugar: os solos não congelam necessariamente, quando as temperaturas se situam abaixo dos 0°C . À medida que a temperatura desce abaixo dos 0°C, a água transforma-se progressivamente em gelo e o seu volume expande-se em 9% (French, 2018, p.65). Em algumas situações de "permafrost" pode ocorrer o movimento de águas subterrâneas (French, 2018, p. 78). A formação da espessura do gelo é influenciada pela diferença dos valores de albedo e condutividade térmica de cada tipo de solo e rocha.

Os valores médios para rocha e solo sem vegetação variam entre 10% e 40% (French, 2018, p. 88).

Nos ambientes periglaciares, a meteorização física e química das rochas é provocada principalmente pela ação do gelo durante os ciclos de congelação e descongelação da água. Em teoria, a pressão máxima exercida pela congelação da água a (-22°Celsius) é de 2100 Kg/cm2, no entanto, esse valor dificilmente é atingido devido a fatores que reduzem a pressão, tais como: i) a água ou o gelo deverão estar num sistema fechado, ii) as bolhas de ar no gelo e nos espaços porosos das rochas reduzem as pressões, e, iii) o tipo de rocha e certamente o manto do solo não são suficientemente fortes para suportar esse valor de pressão (French, 2018, pp. 195-198).

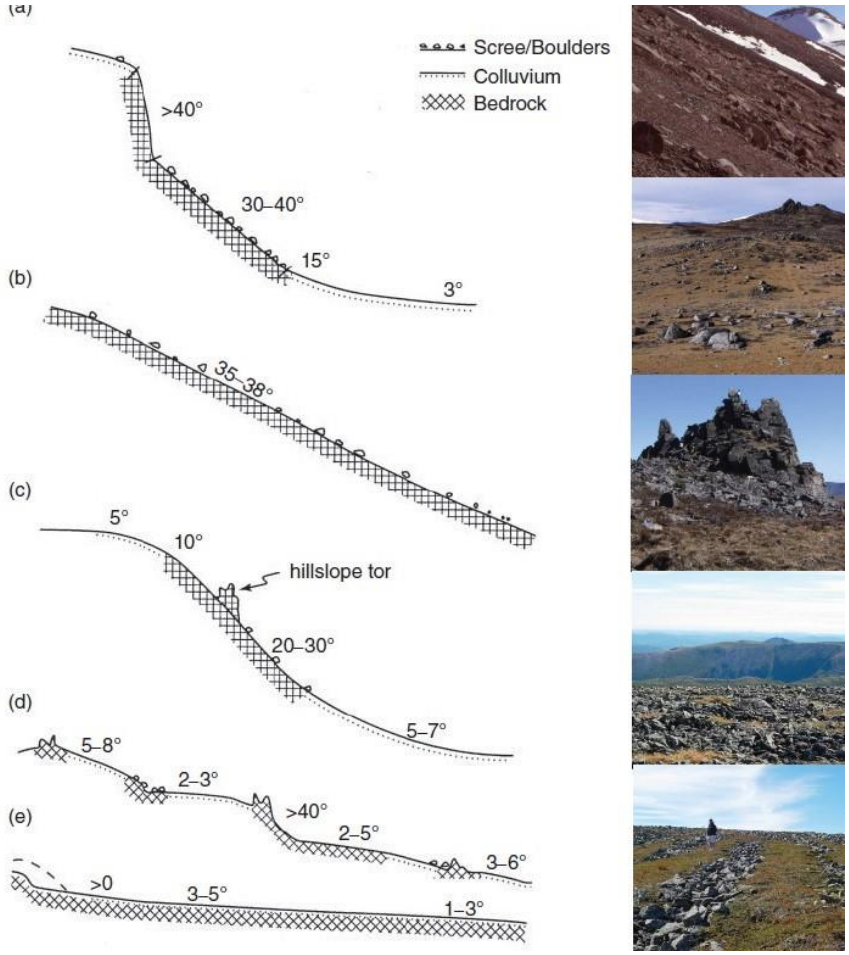


Figura 6 - Morfologia de encostas existentes em ambientes periglaciais: a) talude de inclinação de face livre; b) talude retilíneo coberto de detritos; c) talude côncavo e convexo com manto de detritos; d) talude de perfil escalonado; e) talude em forma de frontão (Adaptado de French, 2018, p. 276).

De um modo geral, a morfologia das encostas que encontramos em ambientes periglaciares podem assemelhar-se às formas existentes em montanhas com climas temperados e quentes (French, 2018, p. 275). A figura 6, apresenta alguns exemplos de encostas existentes em ambientes periglaciais atuais.

Segundo, Ballantyne & Harris (1994), a periglaciação refere-se ao grau de modificação a que uma paisagem esteve ou estará sujeita, dependendo da natureza e duração das condições climáticas frias e da litologia das formas de relevo anteriores (French, 2018, p. 343).

A figura 7, apresenta-nos uma ilustração do processo de formação dos vestígios periglaciares presentes nas serras ibéricas mais elevadas, desde a última glaciação, que ocorreu entre 26 e 23 ka (Oliva, et al., 2016). As fases presentes no esquema são: a última glaciação, o degelo, a fase quente holocénica, a fase fria do holocénico ou pequena idade do gelo (LIA - Little Ice Age) e a fase atual.

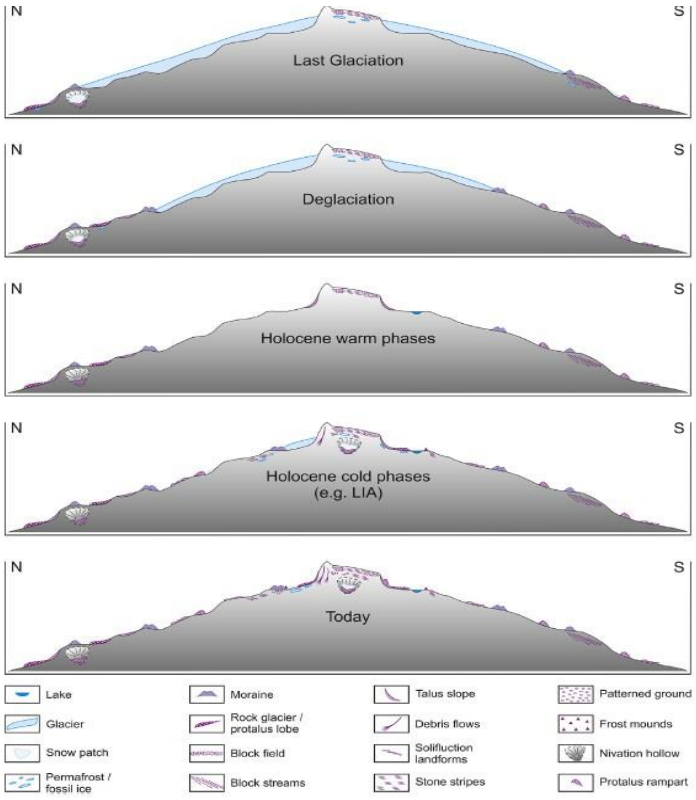


Figura 7 - Etapas da atividade periglaciar desde a última glaciação nas serras ibéricas com maior elevação (Fonte: Oliva et al, 2016, p. 191).

Durante a última grande glaciação, os glaciares atingiram a sua extensão máxima. Com o degelo, devido ao aumento do valor médio da temperatura atmosférica, os glaciares diminuíram de tamanho, e em algumas serras ibéricas, derreteram completamente. Este período prolongou-se até se se atingir o máximo da fase quente do Holocénico. Na pequena idade do gelo (LIA), entre 1450 e 1850, existiu um período de arrefecimento em que se formaram glaciares em cumes de algumas montanhas, que não perduraram até à atualidade (Oliva, et al.,2016)

Segundo, Pérez-Alberti, (2021), durante o Plistocénico recente, entre 40 e 11 Ka atrás, o clima dominante era frio, com períodos de humidade e temperatura muito variável, tendo proporcionado processos glaciares e periglaciares. Os vestígios glaciares ficaram registados em formas erosivas tais como: circos e soleiras rochosas, e cumulativas, no caso das moreias. Enquanto que os processos periglaciares formaram encostas de depósitos estratificados e encostas de blocos.

As figuras 8, 9 e 10 exemplificam morfologias de origem glaciar e periglaciar.

Figura 8 - Exemplos de formas de relevo glacial em montanhas da Galicia: a) Cristas morénicas (Glaciar de Palleiros); b) circo glacial (Castros – Courel); c) Moreira (Paderne Valley); d) Depósitos estratificados em talude (Castro-Portela), (Fonte: Pérez-Alberti, 2021).

Alguns cumes das montanhas apresentam formas de relevo periglaciar do tipo "*Tor*", que podem encontrar-se isolados em forma de castelo, ladeados por blocos em forma de encosta e distribuídos de forma alongada (Harriott & Evans, 2022). Os "*Tor*" são relevos residuais de menor dimensão comparativamente com os "Bornhardt" (Pereira e Pereira, 2020). Dartmoor, no Sudoeste de Inglaterra, é um planalto granítico onde existem mais de 150 exemplares de "Tor", com 2 a 5 metros de altura, que se localizam entre os 300 e 621 metros de altitude (Gunnel et al., 2012).

Os afloramentos rochosos angulares de granito, geralmente conhecidos como "*Tor*", estão relacionados com os restos de afloramentos rochosos quebrados pela ação do gelo (French, 2018, p. 347).

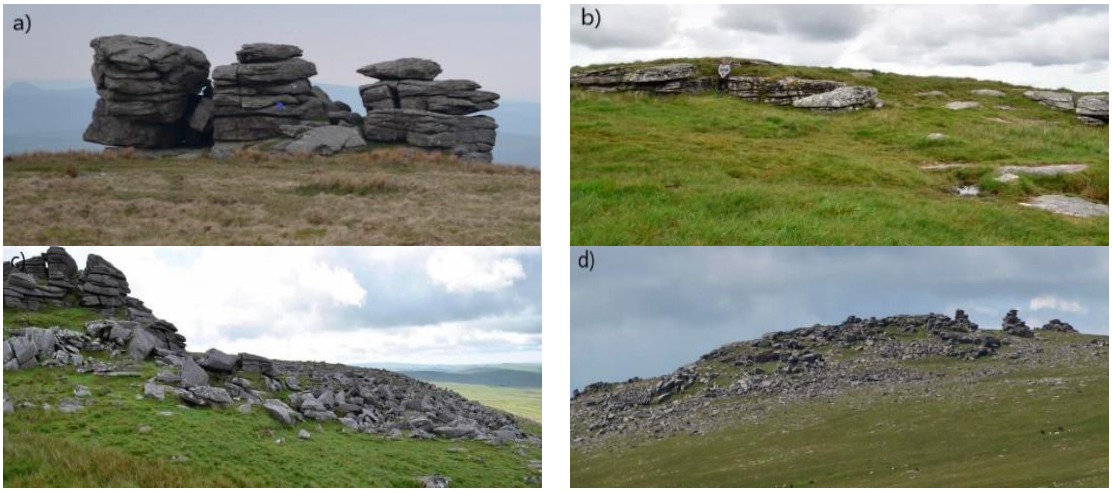


Figura 9 - Exemplos de tipos de Tor, morfologia glacial, existente em Dartmoor: a) Pequeno Tor; b) Tor de tipo baixo; c) Tor e o efeito da crioclastia nas rochas no solo; d) Tor em topo de colina com encosta de blocos formado por crioclastia (Fonte: Harriot e Evans, 2022, fig. 2 e 3 – adaptado).

Uma das características da paisagem periglacial são os conjuntos de blocos de rochas quebrados devido à ação do gelo, que se denominam por: campos de blocos "Block fields" e encosta de blocos "Block slopes" (Pereira e Pereira, 2020).

Normalmente, as rochas siliciosas e duras como o arenito, o quartzito e o granito, que passaram por períodos de frio prolongado durante o Plistocénico, potenciam o desenvolvimento de detritos de topo da montanha (French, 2018, pp. 344-345).

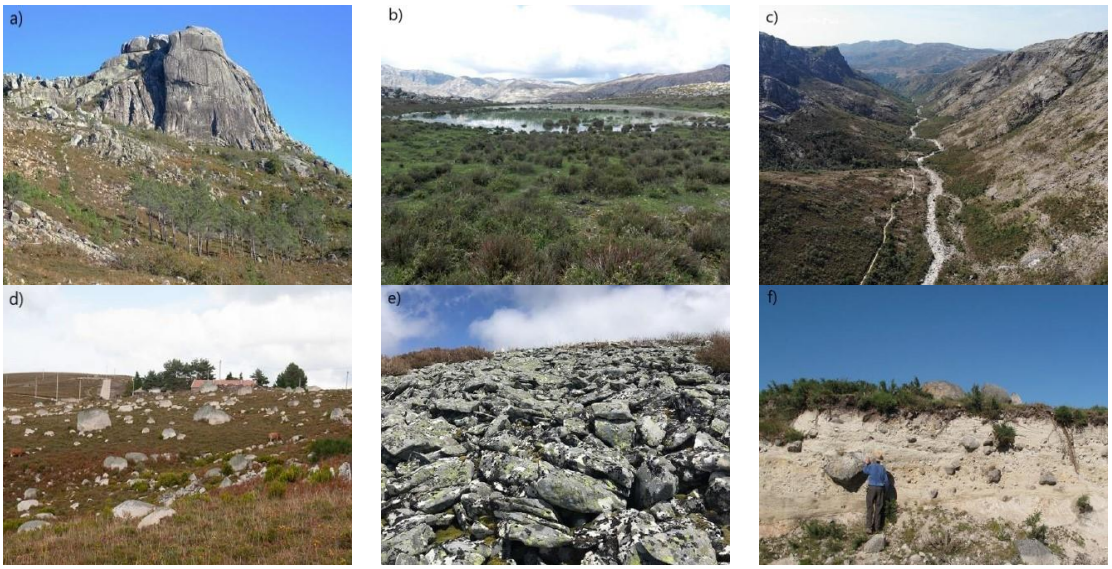


Figura 10 - Exemplos de formas de relevo glacial e periglacial existentes na Serra da Peneda - Gerês: a) Bornhardt; b) Lagoa glaciar; c) Vale glaciar em U; d) blocos erráticos; e) Block slope (encosta de blocos) ou Block field (campo de blocos) – periglaciar; f) Till subglaciar (Fonte: Pereira e Pereira, 2020).

Nas montanhas mais elevadas de Portugal, as mais relevantes geoformas e depósitos relacionados com o frio, encontram-se na Serra da Estrela e nas montanhas localizadas no Minho. As morfologias principais que se encontram são: geoformas glaciárias de erosão (circos, estrias, polimentos, vales em U e vales suspensos); geoformas glaciárias de acumulação (moreiras); depósitos glaciários (tills glaciários e subglaciários); e depósitos periglaciários (acumulação de crioclastos) (Pereira et al., 2010).

Pereira et. al. (2010), referem que os vestígios geomorfológicos e sedimentológicos das glaciações quaternárias em Portugal, tiveram os primeiros estudos no século XIX, no entanto, foi sobretudo a partir de finais da década de 1970 que se iniciaram os principais trabalhos de caracterização dos vestígios glaciares Schmidt-Thomé (1978) ; Coudé-Gaussen (1979) e (1981) ; Coudé et al. (1983) ; Daveau & Devy-Vareta (1985) ; Daveau (1986) ; Vidal-Romani et al. (1990) ; Ferreira et al. (1999) ; Pereira et al. (2009).

1.3 Enquadramento Geográfico e Geomorfológico - Serra da Cabreira

A Serra da Cabreira localiza-se no Distrito de Braga, no minho e norte de Portugal, distribuindo-se pelos concelhos de Cabeceiras de Basto, Montalegre e, principalmente, em Vieira do Minho. O ponto mais elevado da serra situa-se nos 1262 metros, acima do nível médio do mar, com as seguintes coordenadas geográficas (41º28'20''N, 8º2'36''W). Os pontos mais elevados da serra têm orientação Nordeste - Sudoeste, as encostas com relevos acentuados localizam-se a Norte e Oeste dos pontos mais elevados, enquanto que, na direção Noroeste-Sudoeste, predomina uma área de relevo aplanado. Existem vários cursos de água que dão origem a rios, sendo um deles, o Rio Ave.

Na figura 11, está representada a hipsometria do Norte de Portugal Continental e da Serra da Cabreira (área de estudo).

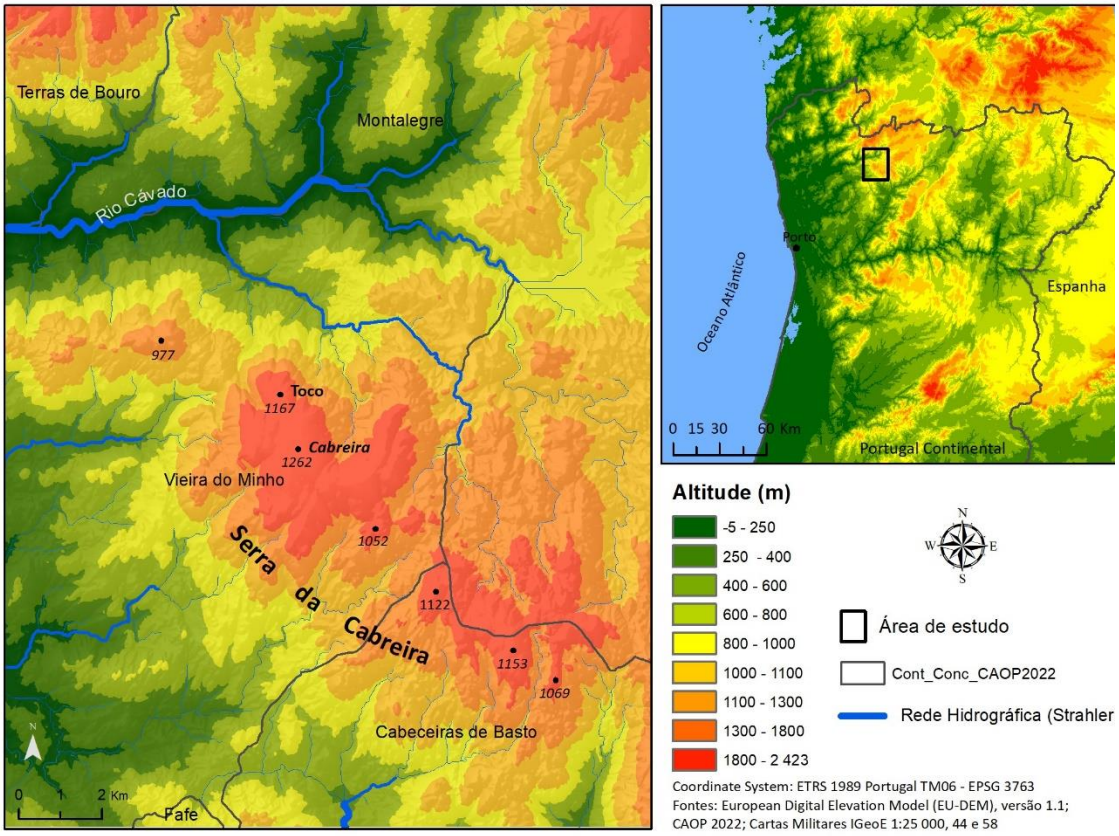


Figura 11 - Hipsometria da Serra da Cabreira (área de estudo) e norte de Portugal Continental.

A Serra da Cabreira é uma elevação no noroeste de Portugal, está inserida na unidade estrutural do Maciço Hespérico e Zona Centro-Ibérica, sendo uma elevação onde predominam os granitos (Rebelo, 1992).

No noroeste de Portugal, a principal característica do relevo é a fragmentação, com níveis de aplanamento descontínuos, pouco extensos, e não raras vezes pouco nítidos. O relevo do Minho, no seu conjunto, apresenta-se como uma quadrícula de blocos, separados por duas direções de fraturas: a) ENE-WSW e; b) entre N-S a NW-SE, em que as fraturas seguem as estruturas do soco varisco ou cortam-nas com um ângulo reduzido (Ferreira, 2004, pp. 117-119).

A Serra da Cabreira integra o Noroeste (NW) de Portugal, faz parte do conjunto montanhoso (Peneda-Gerês-Cabreira-Marão), as três principais elevações são: o Talefe (1262 metros), as Torrinheiras (1191 metros) e a Lomba da Seixa (1174 metros). Faz parte de 3 concelhos (Vieira do Minho, Cabeceiras de Basto e Montalegre) e integra três bacias hidrográficas (Ave, Cávado e Tâmega). É uma serra essencialmente granítica, nos topos aplanados encontram-se blocos pseudoestratificados e desmantelados em lajes ao redor e nas encostas adjacentes. Em alguns setores as lajes estão conservadas e em blocos de granito pseudoestratificado e por desmantelar (Pereira et. al., 2006).

"Os planaltos da Cabreira (1262 m) e do toco (1138 m), bem como as suas vertentes ocidentais, sofreram intensa gelifração, que se traduz por uma cobertura quase contínua de lousas angulosas" … "*Nas vertentes viradas a leste, em Gaviões e nas Azevedas, existem vastos leques de acumulação de pedras boleadas*" (Daveau & Devy-Vareta, 1985).

Segundo a Carta Geológica de Portugal (CGP), à escala 1:200 000, folhas 1 e 2, do Laboratório Nacional de Energia e Geologia (LNEG), figura 12, a Serra da Cabreira, no centro da figura, caracteriza-se pelo domínio de rochas ígneas, especialmente granitos de duas micas, de grão grosseiro e de médio a grosseiro porfiróide.

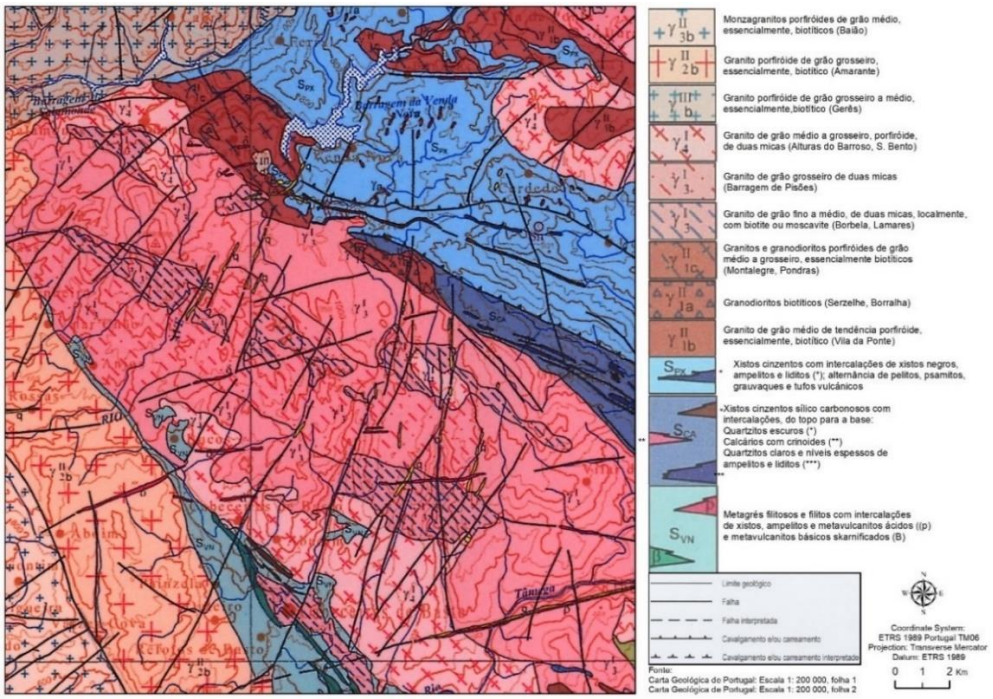


Figura 12 – Mapa Geológico da Serra da Cabreira.

Em termos de declives, figura 13, é na área a norte da Serra da Cabreira que se verificam as inclinações mais acentuadas. Na quadrícula da direita, é possível observar que na zona circundante ao planalto do Toco, predominam declives entre os 40 e os 77 graus, mais abruptos a Este e Oeste do cume.

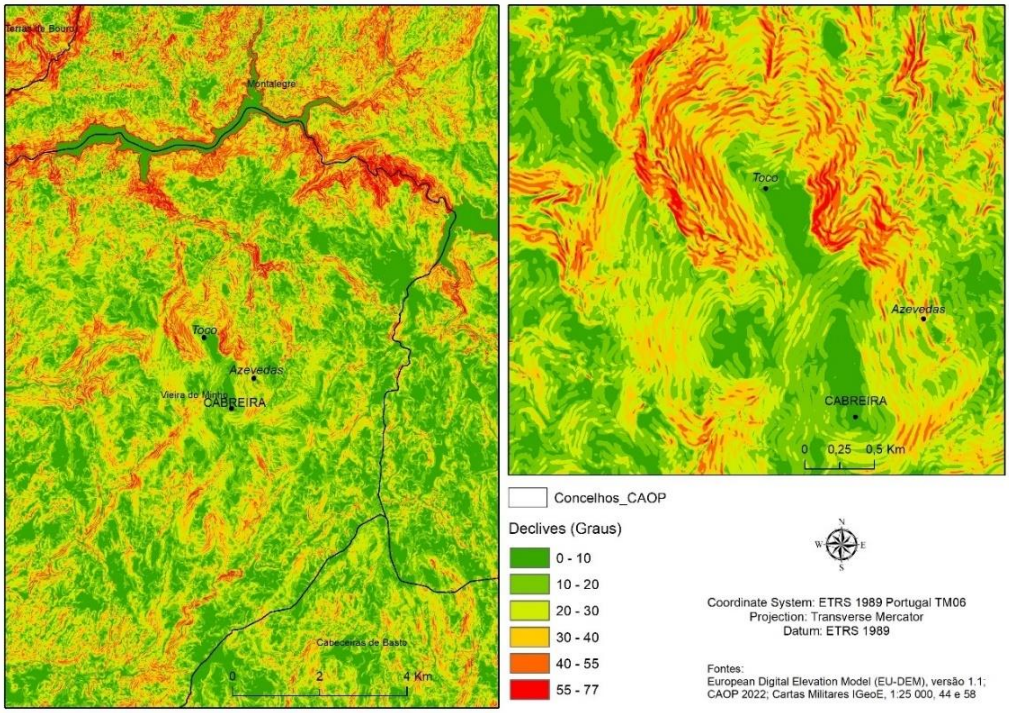


Figura 13 - Mapa de declives da área envolvente à Serra da Cabreira.

A Carta de Uso e Ocupação do Solo (COS 2018), é uma cartografia temática que nos transmite informação sobre a ocupação e uso do solo. A figura 14, apresenta uma perspetiva da classificação do tipo de solo na área envolvente à Serra da Cabreira, e mais pormenorizada nos lugares do Toco, Azevedas e no cume cimeiro da Serra. Segundo a COS 2018, adaptada a oito classes, o lugar de Azevedas é um "espaço descoberto " e o Planalto do Toco e da Cabreira são consideradas "superfícies agroflorestais".

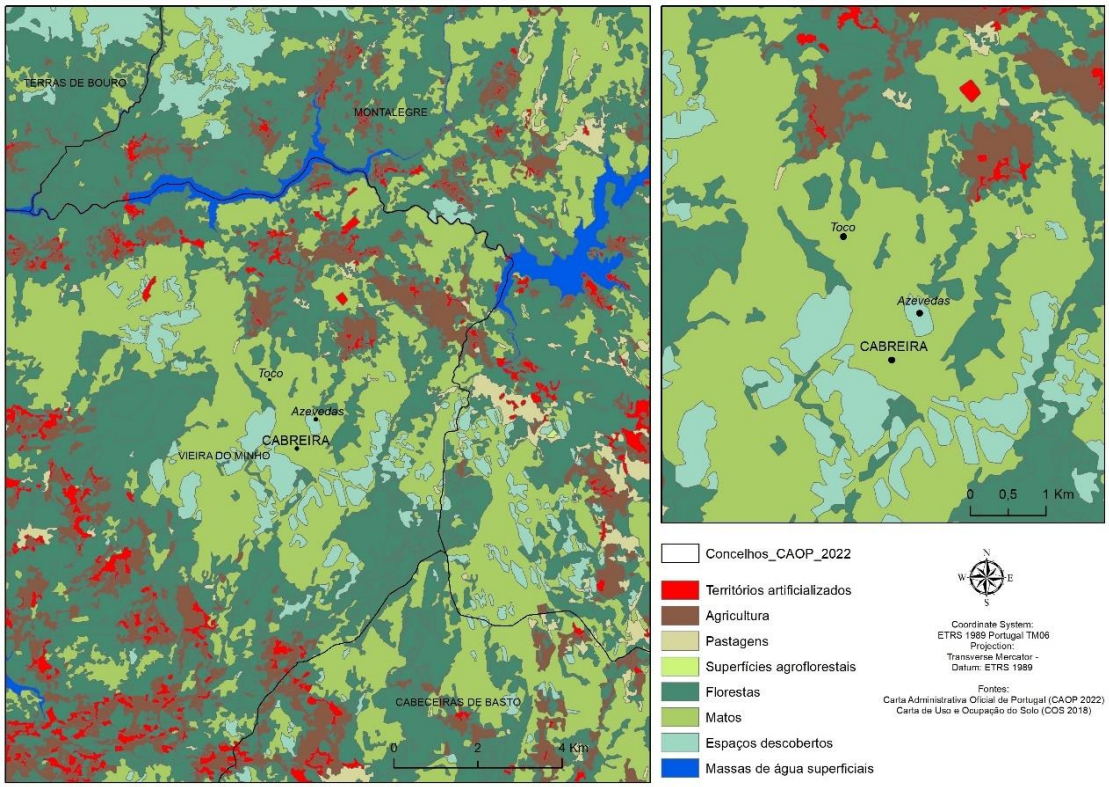


Figura 14 - Uso e ocupação do solo na área envolvente à Serra da Cabreira (Fonte: COS 2018).

1.4 Fotogrametria e Deteção Remota

A fotogrametria e a deteção remota, são duas técnicas que têm em comum a forma de aquisição de dados sobre objetos e da superfície terrestre sem necessidade de contacto físico com os mesmos.

De acordo com Schenk (2005, p. 3), "a *fotogrametria é a ciência que permite obter informações fiáveis sobre superfícies e objetos sem estar em contacto físico com os mesmos e de medir e interpretar essa informação*".

O nome fotogrametria deriva das palavras gregas: *"photos", "gramma"* e *"metron"* que significa: "luz", "escrita ou desenho" e "medir". Portanto, fotogrametria significa "medir graficamente usando luz". A American Society of Photogrammetry (ASP, data) definia a fotogrametria na década de 60 como: *"ciência e arte de obter medidas confiáveis por meio de fotografias".* Com o surgimento de novos tipos de sensores, a ASP, em 1979, propôs uma definição que englobasse dados de sensores remotos: "*A Fotogrametria é a arte, ciência e tecnologia de obtenção de informação confiável sobre objetos físicos e o meio ambiente através de processos de gravação, medição e interpretação de imagens fotográficas e padrões de energia eletromagnética radiante e outras fontes"* (Tommaselli, 2009, p. 1)

Segundo, Baqersad (2016), a fotogrametria é uma técnica de medição que utiliza fotografias e imagens digitais na aquisição de dados.

Outra definição de fotogrametria é transmitida por Jiang et al. (2008), *"é uma técnica para determinar a geometria tridimensional (localização, tamanho e forma) de objetos físicos através da medição e análise de fotografias bidimensionais".*

Schenk (2005, p. 4), considera que a informação adquirida à distância pode ser agrupada em 4 categorias:

- informação geométrica (forma e posição espacial dos objetos),
- informação física (propriedades da radiação eletromagnética; energia radiante, polarização e comprimento de onda),
- informação semântica (significado de uma imagem; interpretação de dados),
- informação temporal (a evolução de um objeto no tempo; normalmente obtida por comparação de imagens registadas em diferentes momentos).

O desenvolvimento da fotogrametria acompanhou a evolução tecnológica nos ramos da fotografia, aviação, computadores e eletrónica. A fotogrametria tem o seu início com invenção da fotografia em 1839, por Daguerre e Niepce (Schenk, 2005, p. 7). A segunda etapa, é a fase da fotogrametria analógica e foi a invenção do "*stereophotogrammetry"* em 1901, por Carl Pulfrich, que viria a permitir a construção

do primeiro “stereo plotter”, por Orel, em 1908 (Schenk, 2005, p.8). Os aviões com câmaras fotográficas começaram a sua operação durante a primeira guerra mundial. Entre as duas guerras mundiais, desenvolveram-se as principais bases técnicas de levantamento aéreo que se mantêm até aos dias de hoje, tornando-se num método eficaz de apoio à produção de cartografia (Schenk, 2005, pp. 8).

Com a chegada dos computadores, nos anos 50, inicia-se a terceira fase, Schmid desenvolveu a base da fotogrametria analítica, utilizando a álgebra matricial no ajustamento de medições fotogramétricas com recurso a um computador (Schenk, 2005, p. 8). Os programas de computador surgiram nos anos 60, Brown, criou o primeiro programa de ajustamento de blocos baseado em feixes. Ackermann, desenvolveu o programa de modelos independentes como conceito subjacente. Estes avanços contribuíram para que o desempenho da precisão da triangulação aérea tenha melhorado de 1 para 10 (Schenk, 2005, pp. 8-9).

A quarta geração da fotogrametria surge com a digitalização, passam a ser utilizadas imagens digitais no lugar de fotografias, tal viria a ser possível devido à capacidade de armazenamento dos dispositivos e facilidade de acesso (Schenk, 2005, pp. 7-9).

A fotogrametria pode ser subdividida em: **aerofotogrametria,** quando as fotos são obtidas através de aeronaves; **fotogrametria terrestre**, quando as fotos são obtidas numa posição fixa no terreno; **fotogrametria espacial**, compreende os casos de fotos em que a câmara ou sensor se encontra fixo na terra, lua, planeta ou satélite artificial; e a **fotogrametria a curta distância**, que é utilizada na medicina, arquitetura etc, e em que a câmara está próxima do objeto fotografado (Tommaselli, 2009, p. 2).

A colocação dos primeiros satélites em órbita na década de 60, e posteriores missões durante a década seguinte, em que, sensores ou câmaras multiespectrais e hiperespectrais passaram a obter informação de forma remota, fomentando a necessidade de ser criada uma definição complementar ou distinta em relação à “fotogrametria”.

Na elaboração da definição do termo “Deteção Remota”, surgiu a seguinte questão (Fussel et al., 1986, p. 1507): A que distância de um sensor deverá estar um objeto para

o considerarmos “remoto”? Avery (1980), sugeriu que remotamente pode ser considerado um satélite geoestacionário que se encontra a mais de 32 000 quilómetros da terra, ou algum equipamento portátil que se encontre a curta distância. Para Pruitt (1979), o termo “fotografia” era limitado porque não abrangia as regiões do espectro eletromagnético para além da gama do “visível”, e o termo “aéreo” era também demasiado limitado, tendo em conta a possibilidade de ver a terra do espaço.

A definição de “deteção remota” foi abordada através da utilização do método da fórmula máxima ou mínima. Holz (1973); Barrett & Curtis (1976); Ford (1979) e, Siegal & Gillespie (1980), empregaram a fórmula máxima que é uma definição curta, simples e memorável: *“a deteção remota é a aquisição de dados sobre um objeto sem lhe tocar”.* A outra forma, o método mínimo, defendido por Luney & Dill (1970); Reves (1975); Sabins (1978); e Gustafson (1982), utiliza muitos qualificadores para garantir que apenas as instâncias legítimas são incluídas na definição: *“a deteção remota é o registo, sem contacto, de informações das regiões ultravioleta, visível, infravermelha e microondas do espectro eletromagnético, através de instrumentos como scanners e câmaras localizados em plataformas móveis, como aviões ou naves espaciais, e a análise das informações adquiridas por meio de técnicas de fotointerpretação, interpretação de imagens e sistemas de processamento de imagem de última geração”* (John et. al., 1986).

1.5 Fotogrametria com recurso a Veículo Aéreo Não Tripulado (VANT)

“Deixem-nos voar e eles criarão um novo mercado. Naturalmente estamos a referir-nos aos Sistemas Aéreos Não Tripulados (UAS - Unmanned Aerial Systems) utilizados em deteção remota e cartografia”; “*Os ortofotos e os modelos digitais de superfície são dois dos principais produtos cartográficos dos UAS”* (Colomina & Molina, 2014).

No início, a utilização de drones (ou UAV’s) teve como principal objetivo fins militares, mas, atualmente, é uma ferramenta genérica de aquisição de dados (Elkhrachy, 2021).

Os sensores de deteção remota colocados em veículos aéreos não tripulados (UAV - Unmanned Aerial Vehicles) são uma opção de baixo custo que responde aos requisitos críticos de resolução espacial, espectral e temporal comparativamente com os dados adquiridos por sensores dos satélites. É possível gerar produtos quantitativos usando sensores remotos em UAV (Berni, 2009).

Da mesma forma que, na tradicional fotogrametria e deteção remota, os dados adquiridos por UAS e o seu posterior processamento são uma etapa fundamental. O facto das tecnologias dos UAS serem mais leves, mais pequenas e mais simples, não implica que os sistemas de processamento sejam mais redutores, em geral é necessário um sistema de processamento mais sofisticado para compensar as limitações das pequenas e leves plataformas e sistemas de aquisição de dados. (Colomina & Molina, 2014).

Qin et. al (2013), descreve os desafios de processamento de um conjunto de 900 imagens, no entanto, pode afirmar-se que a fotogrametria e a visão computacional uniram esforços no sentido de processar as imagens com precisão. Mais pequeno, mais leve e mais simples não significa necessariamente que os resultados obtidos sejam de segunda categoria (Colomina & Molina, 2014).

Uma nova era de deteção remota surgiu com a chegada dos Veículos Aéreos não tripulados (UAV), com peso até 10 quilogramas; (Berni et al. 2009; Sharma et. al., 2013).

Na última década, o desenvolvimento da tecnologia de aquisição de dados contribuiu consideravelmente nos domínios da fotogrametria aérea, deteção remota e mapeamento. Nos últimos dois anos, uma gama de sensores integrados em (UAV) tem adquirido dados de alta resolução espacial e temporal de ampla qualidade. Os sensores têm vindo a ser desenvolvidos de forma a serem adaptados às plataformas (UAV), conforme o mercado de baixo ou alto custo e de utilização amadora ou profissional (Berra & Peppa, 2020)

A figura 15, apresenta um esquema síntese de artigos científicos publicados de 2017 a 2019 demonstrando a aplicabilidade de 6 tipos de sensores (Berra & Peppa, 2020).

UAV	Sensor	Application	Publication
1. COTS (unmodified and/or modified visible and near infra-red)			
QPOD-FW	Panasonic	Forest phenology	Berra et al. (2019)
Phantom 4-RW	DJI's RGB sensor-	Tree detection	Santos et al. (2019)
Quest-FW	Panasonic, Sony	Landslide change detection	Peppa et al. (2019)
Custom-build-FW	Sony	Glacier monitoring	Jouvet et al. (2019)
DJI F550-RW	Canon	Fluvial sedimentology	Woodget et al. (2018)
SenseFly eBee-FW	Sony	Glacier monitoring	Dall'Asta et al. (2017)
2. Multispectral			
DJI S1000-RW	ICI-T, Sequoia	Biomass estimation	Maimaitijiang et al. (2017)
PHawk-FW	Micasense	Plant species monitoring	Samiappan et al. (2017)
3. Hyperspectral (either imaging cameras or radiometers)			
Aibot X6 - RW	Headwall	Wetland species distribution	Li et al. (2017a)
Aeronavics-RW	Headwall	Vegetation mapping	Malenovský et al. (2017)
Anteos-RW	Ocean Optics	Spectroscopy measurements	Garzonio et al. (2017)

UAV	Sensor	Application	Publication
4. LiDAR			
DJI Matrice600 -RW	RobinMini-LiDAR	Calibration	Davidson et al. (2019)
RIEGL RiCopteR-RW	RIEGL VUX-1LR-LiDAR	Calibration and mapping	Glira et al. (2019)
RIEGL RiCopteR-RW	RIEGL VQ-880-G-IR LiDAR	Shallow water bathymetry	Schwarz et al. (2019)
5. Thermal			
Aeromax 600-RW	Optris-T	Cultural heritage	Parisi et al. (2019)
DJI Phantom 2-RW	Optris-T	Tree canopy temperature	Smigaj et al. (2019)
RW custom-built	FLIR-T	Coal fire detection	Li et al. (2018)
5. SAR			
DJI S1000-RW	SAR (In-house)	Landmine detection	Fernandez et al. (2018)
Custom-build-RW	SAR (In-house)	Design tests	Aye et al. (2017)
DJI S1000-RW	SAR (In-house)	Marine monitoring	Li et al. (2017b)

Figura 15 - Aplicabilidade de alguns tipos de sensores utilizados em plataformas de UAV: Visible, Near infra-red, Multispectral, Hyperspectral, LiDAR, Thermal e SAR (Fonte: Berra & Peppa, 2020, Table 1, pág. 534 - adaptado).

1.6 O uso de VANT no estudo de formas periglaciares (com foco nos rockslope e blokslope)

Os **VANT** são uma forma económica para estudar um grande número de fenómenos terrestres, dado que operam a baixas altitudes e produzem imagens com elevado grau de resolução e exatidão (dados), que podem ser processados em sistemas de informação geográfica (Valavanis et al., 2009); Jonas & Reinke 2009; Green, 2010; Eisenbeiss, 2011; Hugenholtz et al., 2013).

A aplicação de **UAV** num estudo de monitorização de rochas, em costas rochosas, movidas pela ação das ondas, em praias graníticas da Galiza, comprovou as seguintes vantagens: i) baixo custo; ii) alta resolução das imagens; e iii) a extensão da área e os dados que podem ser adquiridos num único dia (Peréz-Alberti & Trenhaile, 2014). A figura 16, apresenta: a) um ortofoto resultante da utilização de um UAV: quadricópetro, com peso inferior a 0,8 kg, câmara RGB e voo efetuado a 50 metros de altitude, e; b) uma fotografia oblíqua.

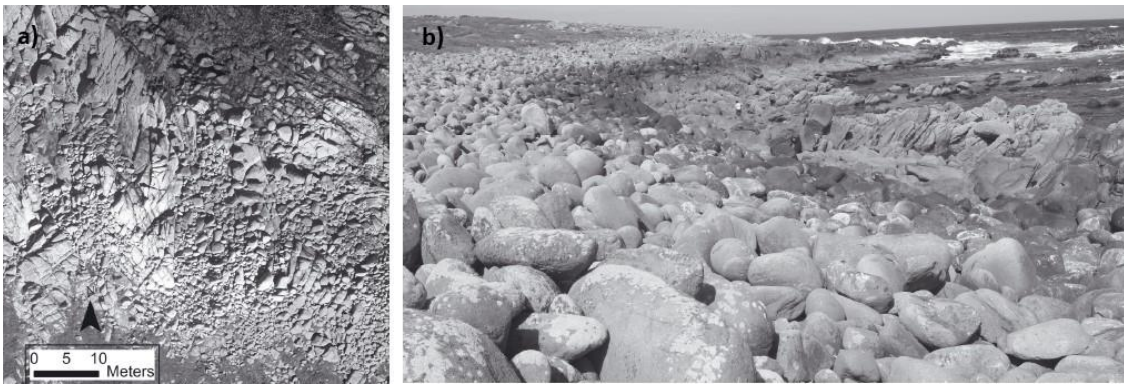


Figura 16 – Resultado de dados adquiridos com drone em Laxe Brava, Espanha: a) Ortofoto; b) Fotografia oblíqua (Fonte: Pérez-Alberti & Trenhaile, 2014, figura 3, pág. 107 – adaptado).

Evans et al. (2017), efetuaram um estudo de mapeamento, dividido em três setores, em Bodmin Moor, Inglaterra, com imagens aéreas de 2011, à escala 1:31841, disponibilizadas pela Ordnance Survey (agência cartográfica nacional do reino Unido - https://www.ordnancesurvey.co.uk/) . Os resultados permitiram concluir que: a utilização de imagens aéreas facilita a avaliação da distribuição espacial e dos padrões de feições periglaciares tais como blockfield, block stream, aventais de detritos e taludes de gelifração (figura 17).

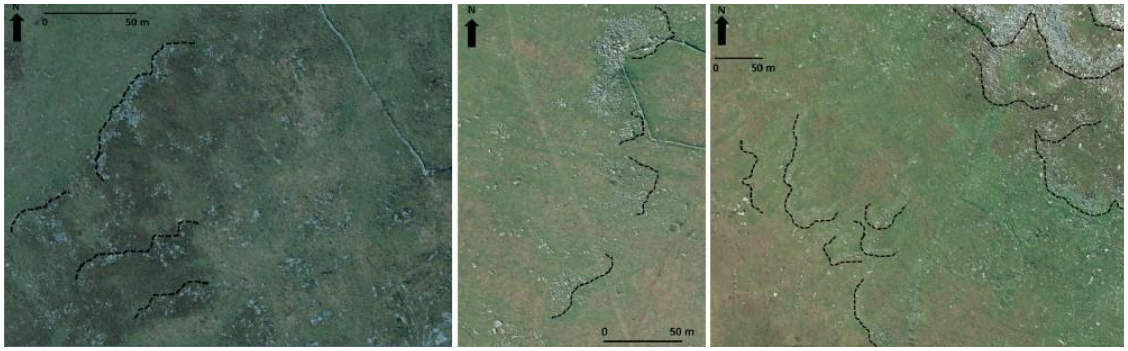


Figura 17 - Extrato de fotografias aéreas (Ordnance Survey - direitos reservados) mostrando exemplos de vestígios periglaciares delimitados por linhas tracejadas a preto, em Bordmin Moor – Inglaterra (Fonte: Evans et al., 2017, figura 5, pág. 346 – adaptado).

Outra abordagem na medição e análise da geomorfologia da superfície terrestre, é sustentada por Hugenholtz et al. (2013), que desenvolveu investigação utilizando para a aquisição de dados um UAV de asa fixa, com peso inferior a 6,2 kg, dotado de uma câmara RGB e altura do voo a 200 metros. Nesse trabalho, os dados de UAV foram utilizados para criar um ortofoto de alta resolução e um modelo digital de terreno

(MDT). A alta resolução do ortofoto, figura 18, permite detetar e mapear vegetação esparsa em dunas de areia no Sul do Canadá usando uma classificação supervisionada de máxima verossimilhança.

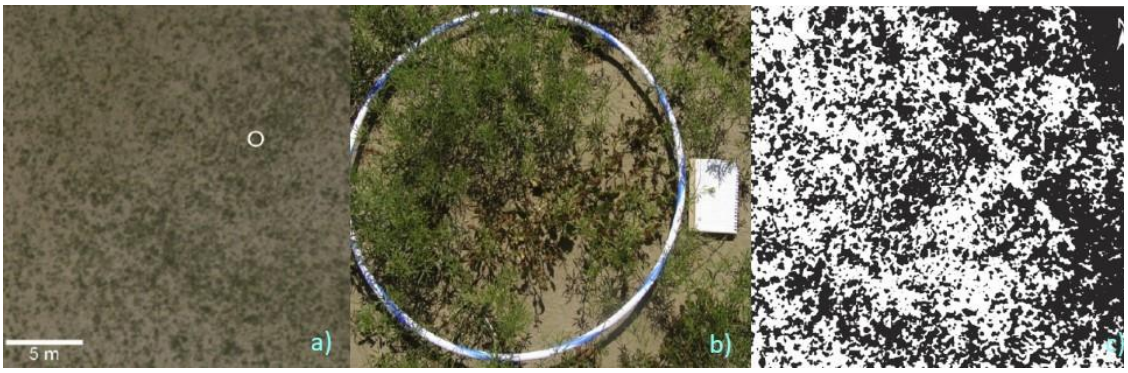


Figura 18 – Imagens de alta resolução UAV, permitem detetar vegetação esparsa nas duas de areia: a) Pequeno círculo; b) Vegetação esparsa no interior do círculo com diâmetro de 0,83 m presente na imagem a) ; c) O branco representa a areia enquanto o preto representa a vegetação (Fonte: Hugenholtz et al., 2013, figura 8, pág. 22 – adaptado).

2. Metodologia de aquisição e processamento de dados UAV

Definido o tema e o local de estudo para o desenvolvimento deste trabalho, uma das principais etapas consistiu na recolha de dados. Nos trabalhos de campo, envolvendo drones, é muito importante realizar previamente uma visita de reconhecimento dos locais. Nas visitas efetuadas à serra da Cabreira recolheram-se fotografias, apresentando-se algumas na figura 19.

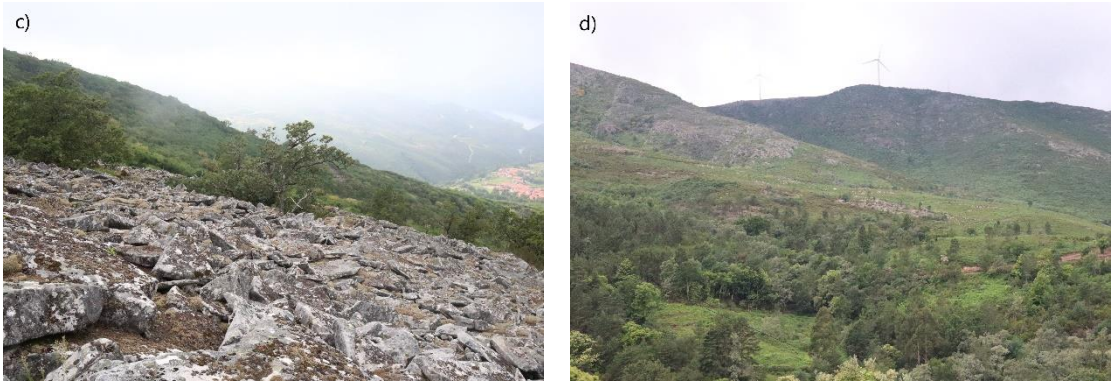


Figura 19 - Fotos de campo das morfologias da Serra da Cabreira: a) Thor e granito pseudoestratificado; b) blockstream; c) blockslope e; d) lugar de Azevedas, no centro da imagem.

O processamento de dados adquiridos por UAV, utilizando a técnica SfM, apresentam um grau de exatidão e precisão comparáveis à dos dados aéreos obtidos com a técnica LiDAR *(Light detection and Ranging*), com a vantagem da facilidade de utilização e redução do tempo de execução dos voos (Fonstad et al., 2013).

A utilização de UAV na aquisição de dados para produção de cartografia, parece ser mais eficaz, em termos de resolução, do que comparativamente com os levantamentos topográficos clássicos (Nikolakopoulos et al., (2017) citado por Kyriou et al., 2021)

Na fotogrametria em movimento SfM (Structure-from-Motion), uma câmara e um computador são os elementos fundamentais do processo (Iglhaut et al., 2019). A técnica SfM, baseia-se em dois princípios: a) visão binocular, e; b) visualização de objetos através de um ponto em movimento (Koenderik et al. (1991), citado por Iglhaut et al., 2019).

A SfM utiliza algoritmos de visão computorizada que identificam pontos de correspondência entre imagens sobrepostas para produzir uma superfície tridimensional (Smith et al., 2016).

A recolha de dados de campo, o seu processamento e o tratamento de dados, desenvolveram-se através de tarefas sequenciais que necessitaram de ser planeadas previamente. A figura 20 sintetiza o plano de trabalho realizado.

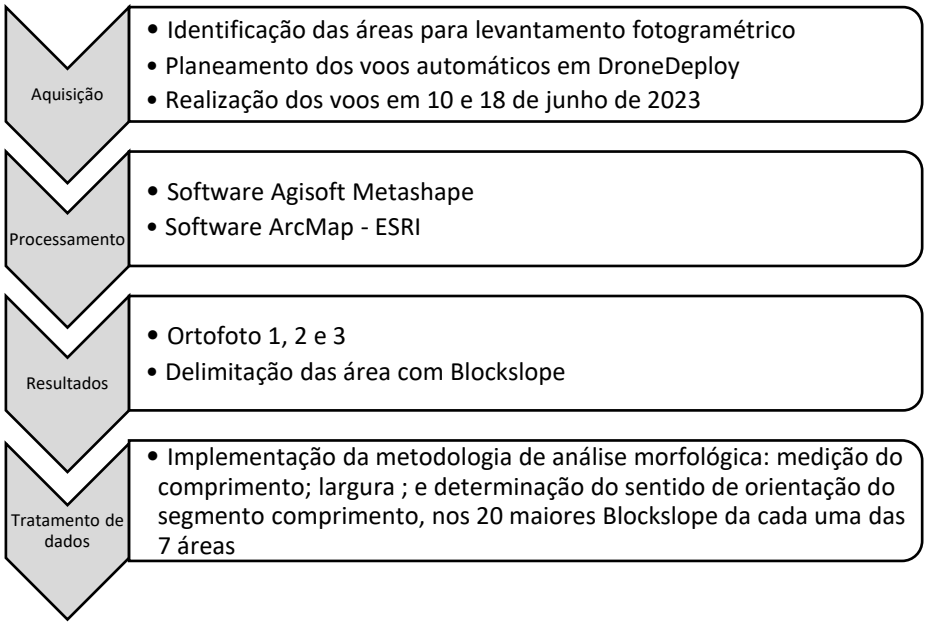


Figura 20 - Etapas metodológicas seguidas neste trabalho.

2.1 Aquisição de dados de UAV

A ideia de desenvolver uma dissertação relacionada com a utilização de UAV, inicia-se durante a realização do estágio curricular, que decorreu de outubro a dezembro de 2022. Ao longo desse período, uma das competências que desenvolvi foi o processamento de um conjunto de imagens que me foram disponibilizadas. Para esta etapa complementar, adquiri o equipamento e competências de operador e planeador de voos UAV.

A pilotagem deste(s) equipamento(s), carece de formação, registos e autorizações, em conformidade com a legislação nacional e europeia, disponível através dos sites da Autoridade Nacional da Aviação Civil (ANAC) https://www.anac.pt/ e da Autoridade Aeronáutica Nacional (AAN) https://www.aan.pt/. O drone utilizado na aquisição das imagens foi o DJI - Phantom 4 Pro, (figura 21) cujas especificações técnicas podem ser consultadas no anexo 1. https://www.dji.com/pt/phantom-4-pro

Número de hélices	4
Velocidade máxima	20 m/s
Velocidade ascensão	6 m/s
Velocidade descida	4 m/s
Resistência máx. vento	10 m/s
Sensor de obstáculos	Sim
Câmara	CMOS 1'' 20 MP
Formatos foto	JPEG, DRAW
GPS	Sim
Peso	1388 gramas
Autonomia bateria	30 minutos

Figura 21 - Phantom 4 Pro-DJI

O drone Phantom 4 Pro permite realizar voos planeados, em modo automático. Para o planeamento dos voos, utilizou-se o software DroneDeploy, sendo necessário o registo do utilizador, disponível em https://www.dronedeploy.com/.

O plano de voo pode ser definido previamente em gabinete, num computador, ou quando nos encontramos no terreno, utilizando a aplicação disponível para smartphone. É fundamental e imprescindível consultar a previsão meteorológica relativamente à possível ocorrência de precipitação, e, muito importante também, ter presente a velocidade máxima do vento, uma vez que não pode ser superior a 10 m/s, i.e., equivalente a 36 km/h.

Como anteriormente referido, o trajeto dos voos foi planeado e efetuado em modo automático, tendo-se realizado os voos principais em 10 e 18 de junho de 2023. Alguns voos de teste realizaram-se previamente, em maio. Para a escolha das áreas a sobrevoar com o UAV, foi consultado o estudo realizado por Daveau e Devy-Vareta, publicado em 1985, intitulado: "Gelifracção, Nivação e Glaciação Abrigada da Serra daCabreira (Portugal)" onde é apresentado um esboço geomorfológico com a localização de vestígios glaciares e periglaciares, figura 22.

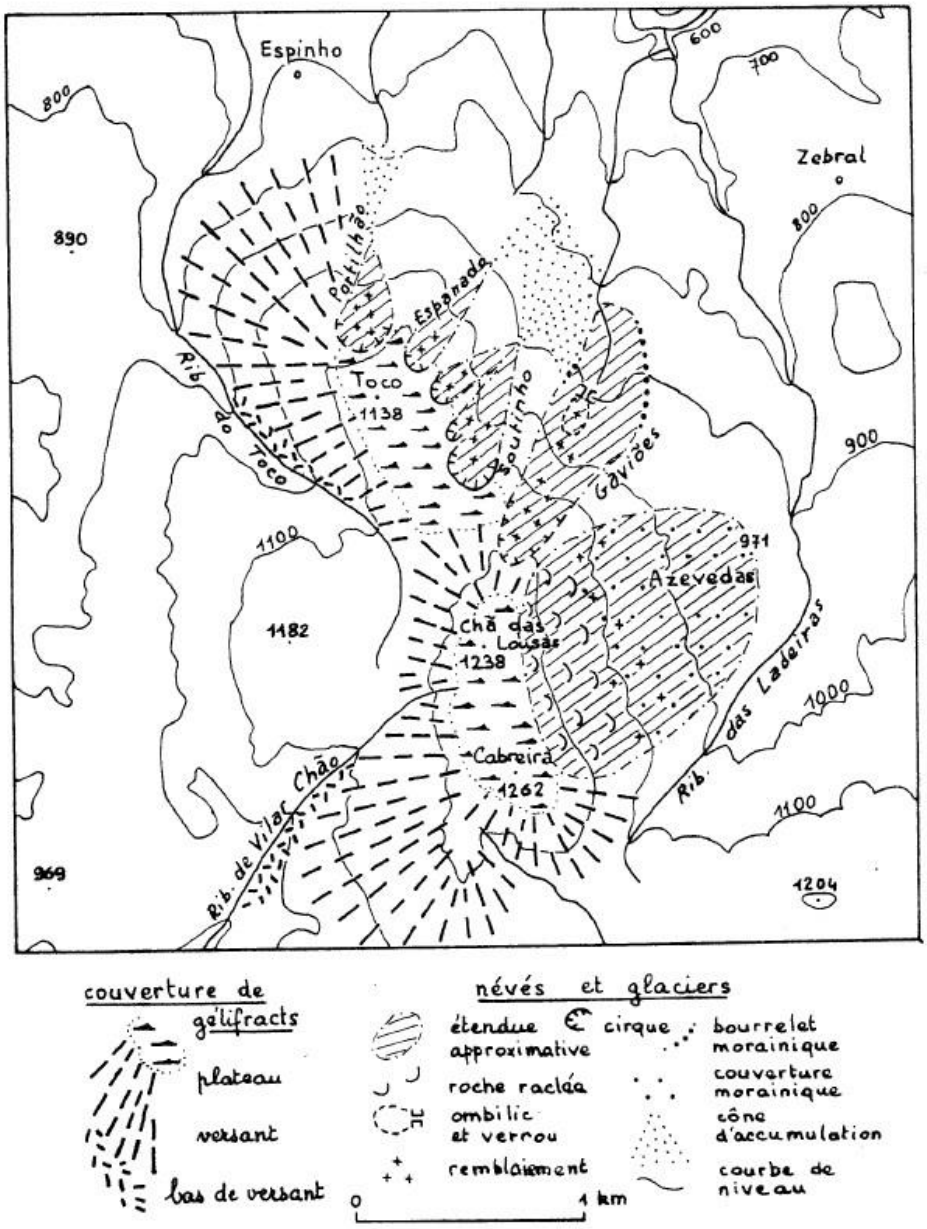


Figura 22 - Vestígios periglaciares na Serra da Cabreira (Fonte: Daveau & Devy-Vareta, 1985).

Recorrendo ao Google Earth Pro – 3D, e com o esboço cartográfico como auxílio, foi possível visualizar na Serra da Cabreira, nomeadamente na encosta próxima do lugar do Toco, várias áreas cobertas de blocos **(**Blockslope**)** e nas Azevedas, blocos dispersos, provavelmente (erráticos), figuras 23 e 24.

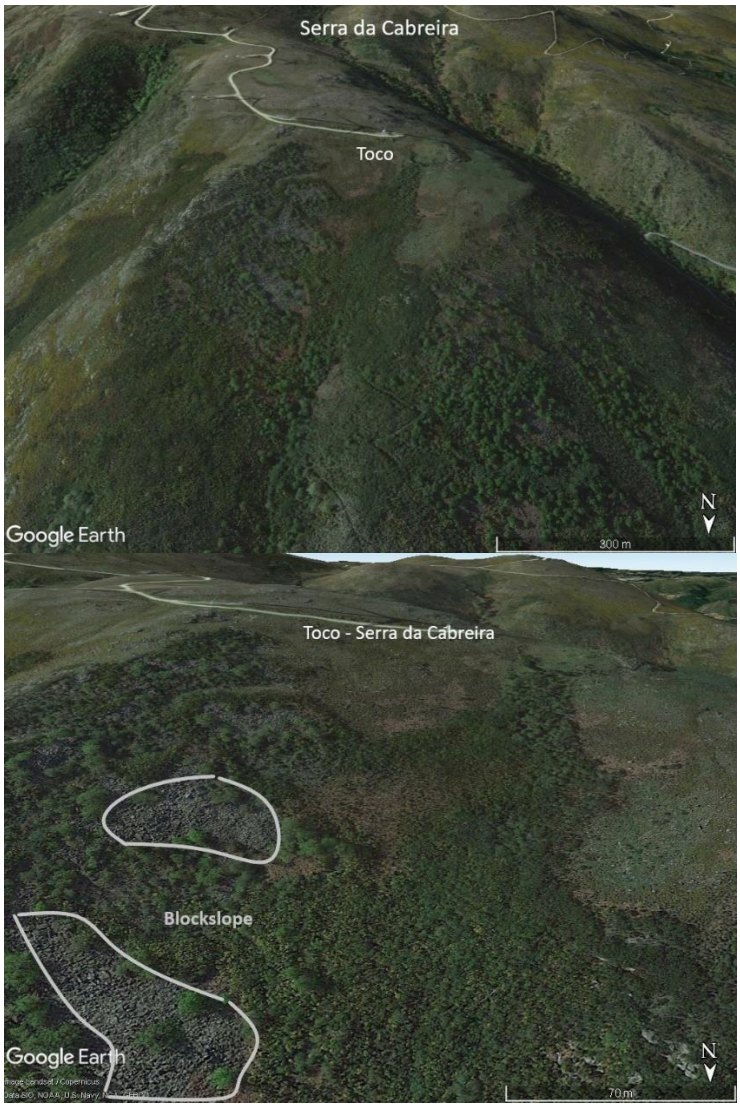


Figura 23 - Blockslope na Serra da Cabreira (Fonte: Google Earth-Pro, adaptado).

A figura 23, apresenta uma panorâmica do planalto e encosta na área do Toco na Serra da Cabreira, em baixo, numa escala maior, é possível visualizar prováveis conjuntos de blockslope delimitados por uma linha branca.

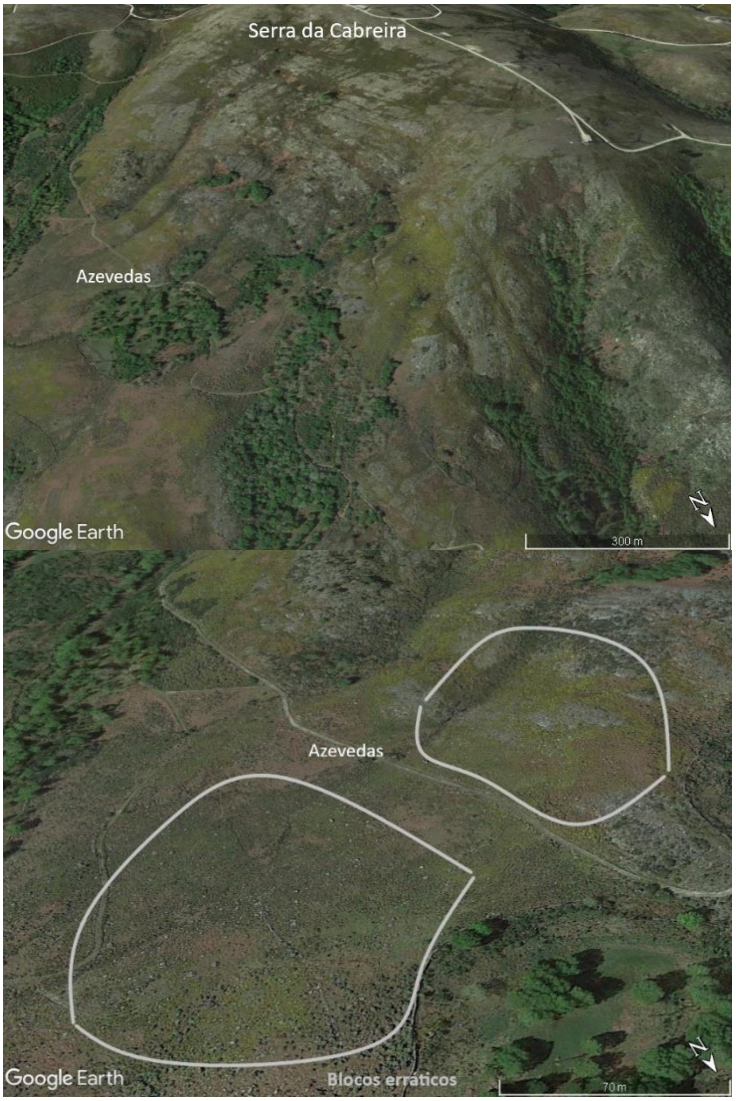


Figura 24 - Blocos erráticos na Serra da Cabreira (Fonte: Google Earth-Pro, adaptado).

A figura 24, apresenta uma panorâmica da área de Azevedas na Serra da Cabreira, em baixo, numa escala maior, é possível visualizar blocos de granito, provavelmente (erráticos), no interior dos círculos delimitados por uma linha de cor branca.

De um modo geral, as áreas identificadas com vestígios glaciares e periglaciares por Daveau e Devy-Varreta em 1985, permaneceram até à atualidade, as figuras 23 e 24, apresentam as imagens visíveis na aplicação Google Earth 3D, datadas de "07/05/2022 até à mais recente", sendo bastante evidente a presença das morfologias referidas.

Na aquisição de dados, uma das vantagens da utilização de veículos aéreos não tripulados comparativamente com imagens de satélite, é a resolução. O tamanho do pixel numa imagem de satélite pode ter entre 10 e 30 metros, enquanto que nas imagens adquiridas por UAV os valores são inferiores a 1 metro, tendo uma resolução mais fina e com maior exatidão (Yang et al., 2019).

Após a confirmação das áreas com probabilidade da existência de vestígios periglaciares, inicia-se, de seguida, a fase operativa, que se desenvolveu com visitas de campo que marcam o início da operacionalização dos voos para a aquisição de dados.

Na tabela seguinte (1), apresenta-se a informação dos planos de voo e dos dados adquiridos.

Tabela 1 – Resumo da aquisição de dados por UAV – DJI - Phantom 4 PRO

Data	Local (Serra da Cabreira)	Plano de Voo	Altitude (m)	Imagens(nº)	Área (km^2)
10-06-23	Azevedas	1	30	352	0,0217
18-06-23	Toco	3	60	262	0,0874
18-06-23	Toco	4	30	1207	0,1060

Se o equipamento dispuser da capacidade para realizar voos em modo automático, o planeamento de voo é uma etapa fundamental na operação de um VANT, isto significa que, o drone segue, de modo autónomo os trajetos previamente planeados.

O plano do voo 1 (figura 25), realizado na área de Azevedas, no dia 10 de junho, previa nos parâmetros de seleção do software, a aquisição de 352 imagens, numa extensão aproximada de 1 hectare e área de cobertura de 0,0217 km^2, voando à altitude de 30 metros. A direção do sentido da trajetória a efetuar pelo drone pode ser definido no planeamento do voo.

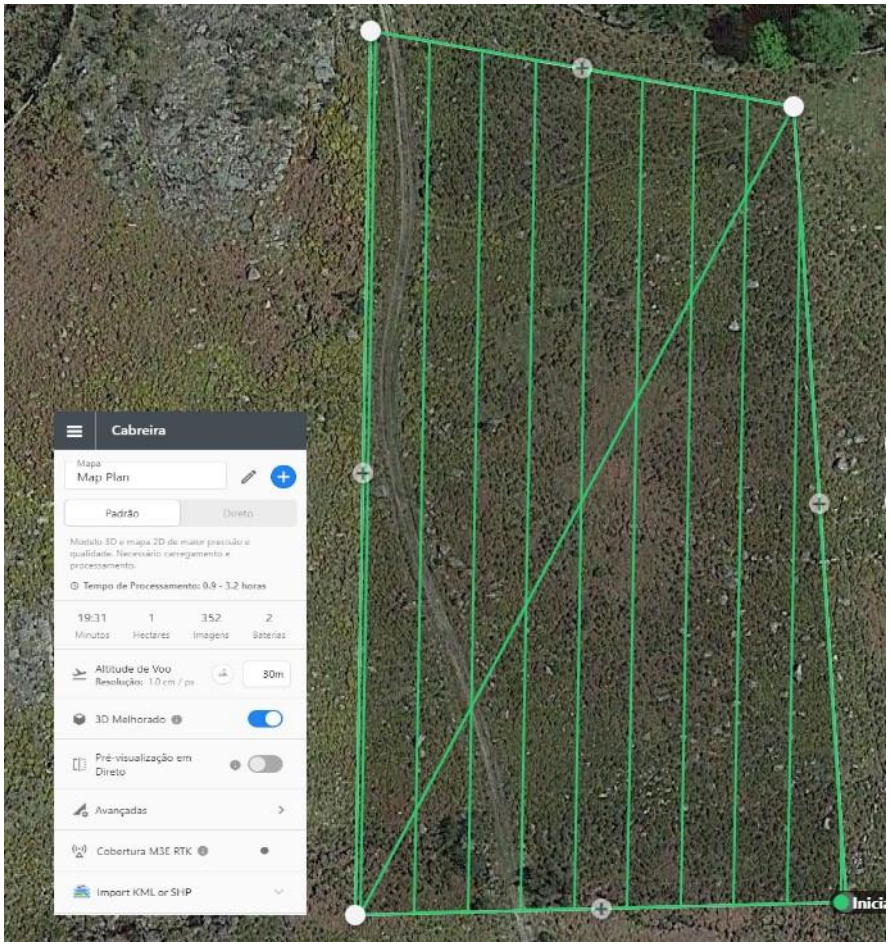


Figura 25 - Plano de voo 1, área de Azevedas - Serra da Cabreira (Fonte:www.dronedeploy.com).

No dia 18 de junho, realizaram-se os voos 3 e 4 que se efetuaram nas vertentes orientadas para Norte a jusante do Toco. De forma a fazer a gestão das 5 baterias existentes, e em função da área de blockslope que se pretendia fotografar, o voo 3 foi planeado para voar a uma altitude de 60 metros, medido desde o ponto de levantamento, com o objetivo de aferir se a essa altitude teríamos imagens com a definição desejável. Nesse voo obtiveram-se 262 imagens, numa área de cobertura de 0.0874 km^2, as fotos foram importadas para um computador portátil e da análise efetuada, concluiu-se que poderíamos planear um voo mais próximo do solo, dado existirem ainda 4 baterias e meia disponíveis, com carga.

Na definição dos parâmetros do planeamento do voo 4, e, tratando-se da principal tarefa de aquisição de dados, ampliou-se ao máximo a área de aquisição, de forma a abranger a maior parte das lajes, tendo em conta a disponibilidade de baterias.

Conforme plano de voo 4 (figura 26), a uma altitude de 30 metros e área de cobertura prevista de 11 hectares, previam-se adquirir 1454 imagens.

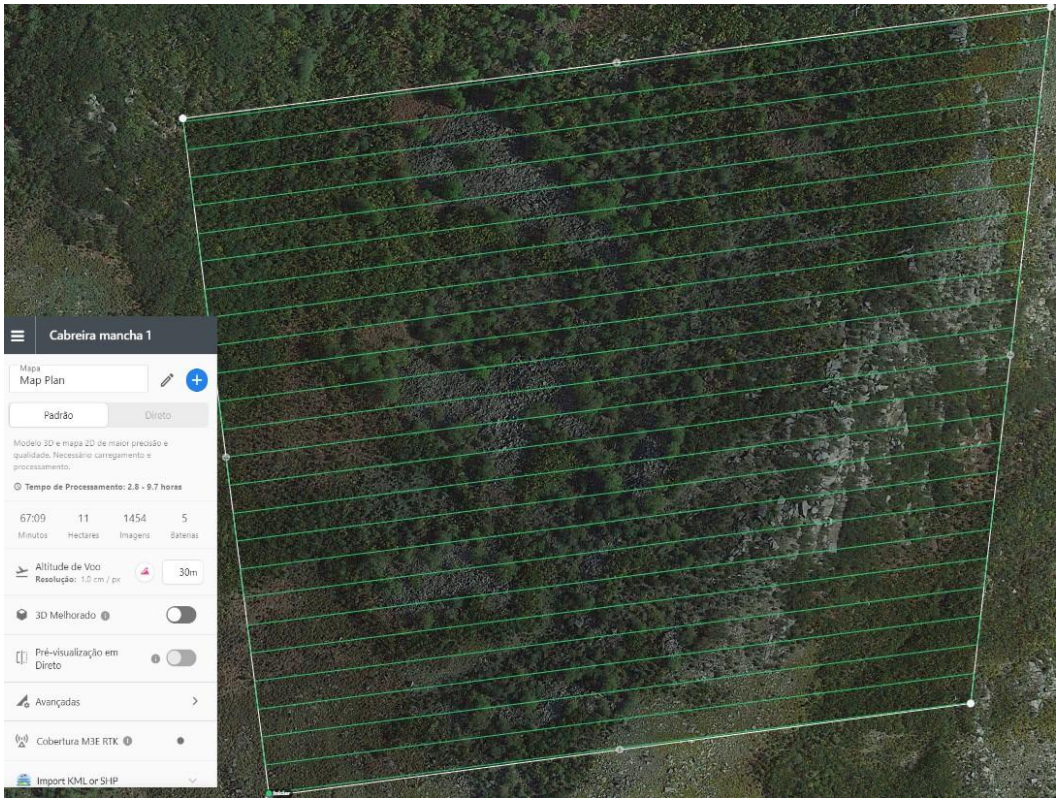


Figura 26 - Plano de voo 4, vertente envolvente do Toco - Serra da Cabreira (Fonte:www.dronedeploy.com).

A autonomia efetiva das baterias de drones está dependente de fatores, tais como: velocidade do vento e velocidade do voo (Elkhrachy, 2021), da mesma forma, a quantidade de carregamentos implica a redução gradual do tempo de autonomia prevista no manual do fabricante.

A área planeada no voo 4 não foi integralmente cumprida por limitações de disponibilidade de carga das baterias. No voo obtiveram-se 1207 imagens, numa área de cobertura de 0.2166 km^2.

2.2 Processamento de dados

Para a produção dos ortofotos foi utilizado o software Agisoft Metashape Professional, versão 1.7.3. Atualmente encontra-se disponível a versão 2.0.2. podendo ser efetuada a instalação do programa e testado sem custos durante 30 dias, em

(https://www.agisoft.com/features/professional-edition/). A empresa Agisoft LLC, com sede em São Petersburgo – Rússia, foi fundada em 2006 como uma empresa de pesquisa inovadora, focada na tecnologia de visão computacional, tendo ganho experiência em algoritmos de processamento de imagem, com técnicas de fotogrametria digital (https://www.agisoft.com/about/).

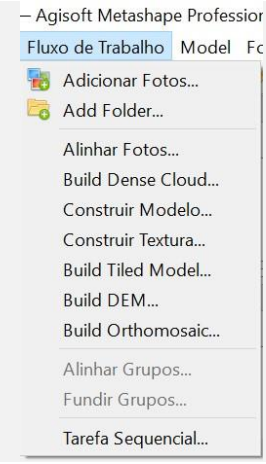
O software Agisoft Metashape utiliza a técnica de visão computacional Structure-from-Motion (SfM) (estrutura a partir do movimento). Esta técnica estima e reconstitui uma estrutura tridimensional (3D) de superfícies ou objetos a partir da sobreposição frontal ou lateral de fotografias 2D. A sobreposição sequencial gerará pontos e informação comum em fotos diferentes, permitindo ao algoritmo de processamento gerar nuvens de pontos (Ramos, 2021, p.21).

Outros softwares de processamento de imagens que utilizam o SfM são por exemplo: ArcGis Drone2Map, Pix4Dmapper, 3DF Zephyr , MicMac, RealityCapture (Ramos, 2021, p. 21).

De acordo com Gómes-Gutiérrez & Gonçalves (2020), a técnica de fotogrametria SfM transforma pixéis de imagens 2D em nuvens de pontos em 3D com dados de coordenadas x, y e z e valores RGB (Red, Green and Blue).

A técnica SfM utiliza imagens adquiridas de múltiplos pontos de vista para restituir a geometria tridimensional de um objeto ou superfície. Em relação à fotogrametria clássica, em que as imagens são adquiridas em linhas de voo paralelas formando uma espécie de tiras, a técnica SfM está concebida para reconstruir a geometria tridimensional de objetos ou edifícios, a partir de imagens obtidas aleatoriamente ou não estruturadas, porque aplica uma nova geração de algoritmos na correspondência das imagens (Fonstad et al., 2013).

Tendo como objetivo a geração dos ortofotos acedi ao programa Agisoft Metashape utilizando a seleção de ferramentas sequencial para o processamento das imagens. A sequência do fluxo de trabalho (figura 27) foi similar nos três conjuntos de dados: *Adicionar Fotos/ Alinhar Fotos/ Build Dense Cloud/ Construir modelo e Textura/ Build Tiled Model/ Build DEM / Build Orthomosaic.*



Etapas do Fluxo de Trabalho	Variáveis
Adicionar fotos	
Alinhar fotos	Precisão: média
Importar Reference Fotos	Georreferenciadas pelo UAV
Qualidade das Fotos	Ajustar: brilho e contraste
Realinhar Fotos	Precisão: média
Construir Nuvem de Pontos	Qualidade: média (número de pontos)
Analisar a Nuvem de Pontos	Limpar pontos “flutuantes”
Contruir Modelo Digital Elevação	Permite de seguida gerar MDT ou MDS
Construir Ortofotomapa	Exportar em: TiFF, JPEG, KMZ

Figura 27 - Fluxo de trabalho no processamento de dados.

O tempo de processamento dos dados no computador, depende, em primeiro lugar, da quantidade de imagens que se adicionam ao projeto e das opções de execução, por exemplo: a variável precisão, pode ser: baixa, média ou alta.

Por experiência de processamentos anteriores, a precisão média apresenta resultados equilibrados no tempo de processamento e na qualidade de resolução das ortofotos. No entanto, a capacidade e desempenho do equipamento informático, influenciará o intervalo de tempo despendido durante o processamento. A satisfação de concretizar voos que capturem muitas fotos, pode tornar-se em apreensão e preocupação, se não dispormos da indispensável capacidade informática.

O voo 4 continha 1207 imagens, tendo as etapas do fluxo de trabalho de processamento demorado sensivelmente 14 horas até finalizar a geração da ortofoto. O período de tempo moroso foi a construção da nuvem de pontos que durou cerca de 10 horas.

O processador e RAM do computador utilizado tem as seguintes características: Intel (R) Core (TM) i5-1035G1 CPU @ 1.00 GHz – RAM 8 GB.

As figuras 28, 29 e 30, exibem as 3 ortofotos geradas.

Figura 28 - Orto 1 (altitude voo: 30 metros) - Serra da Cabreira – Azevedas.

A ortofoto 1, figura 28, resulta do processamento de 352 imagens e tem uma área de 0,0217 km^2.

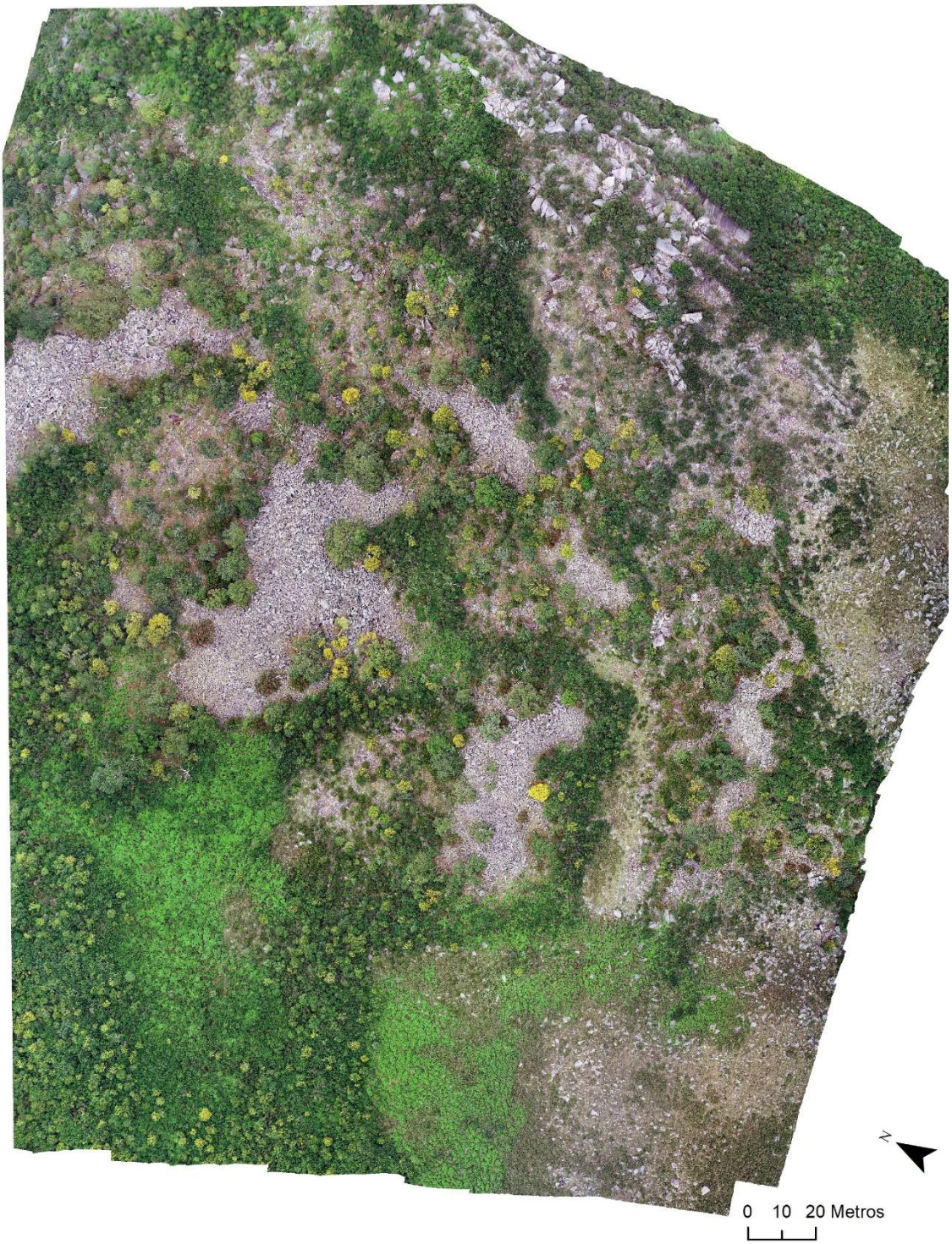


Figura 29 - Orto 2 (altitude voo: 60 metros) - Serra da Cabreira – Toco.

A ortofoto 2, figura 29, resulta do processamento de 262 imagens e tem uma área de 0,0874 km^2

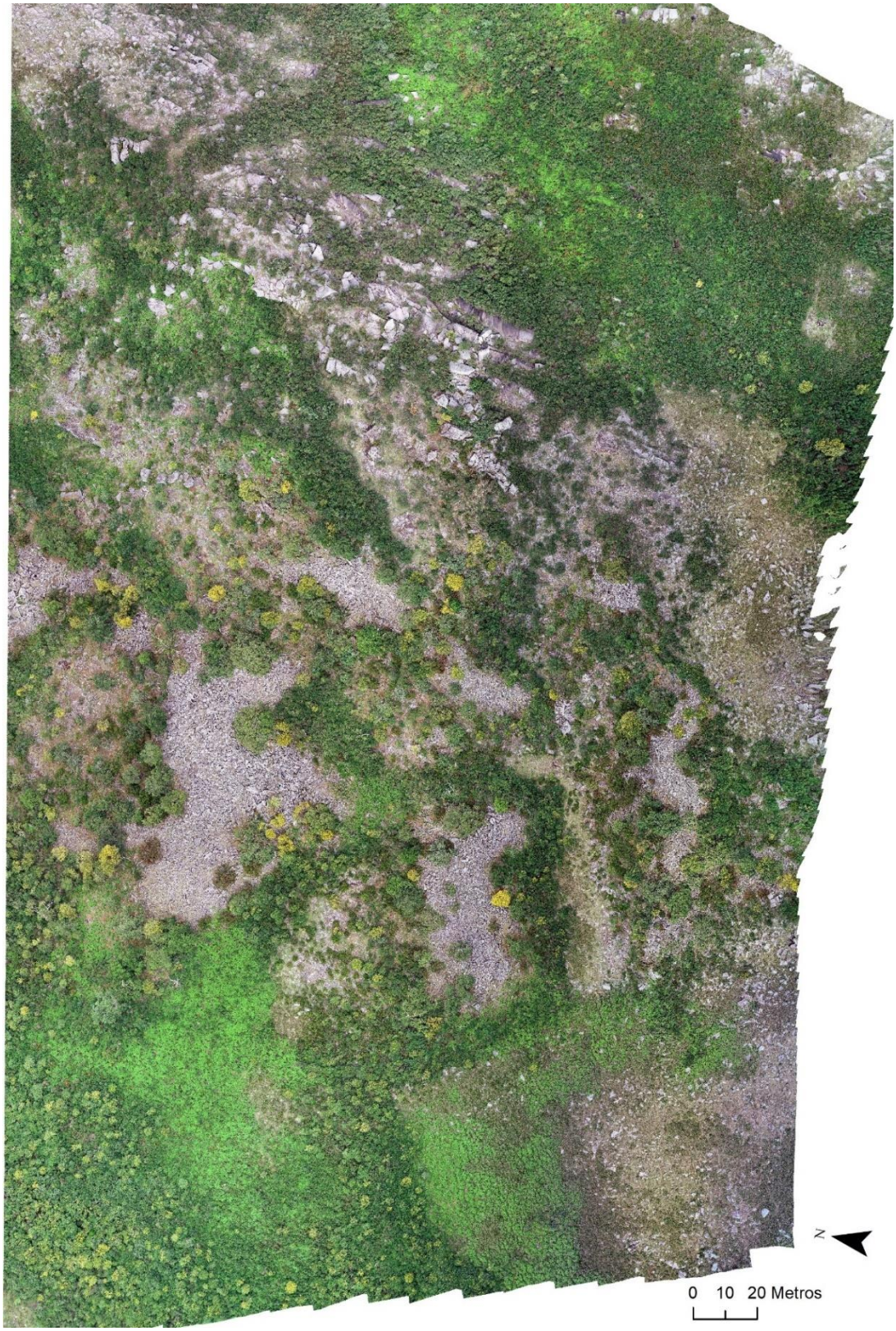


Figura 30 - Orto 3 (altitude voo: 30 metros) - Serra da Cabreira – Toco.

A ortofoto 3, figura 30, resulta do processamento de 1207 imagens e tem uma área de 0,1060 km^2.

3. Resultados

Após a conclusão do processamento das imagens, procedeu-se a uma análise da qualidade de resolução das ortofotos 1, 2 e 3, de modo a certificar que era possível visualizar a morfologia dos blocos, com resolução espacial (1,75cm/pix) e sem distorção. A metodologia de investigação tem como primeiro objetivo a recolha de medições do comprimento e largura de blocos, com recurso ao programa ESRI ArcGis, versão 10.8.1.

Após uma breve análise, rapidamente se verificou que as ortofotos correspondem satisfatoriamente ao que era pretendido: é possível visualizar com excelente definição, os Blockslope individualmente ou conjuntos de blocos, fazendo uma aproximação (zoom) da imagem.

A ortofoto 3, resultante do voo efetuado a 30 metros, apresenta melhor resolução (1,75 cm/pix) comparativamente com a ortofoto 2, voo efetuado a 60 metros (2,05 cm/pix), e, por esse facto, será utilizada como base de trabalho para a implementação da metodologia de análise morfológica.

A ortofoto 1 (figura 28), apresenta blocos erráticos bem definidos presentes na área de Azevedas, no entanto, não serão tratados neste momento.

3.1 Vestígios de Blockslope na Serra da Cabreira

Os vestígios de blockslope na Serra da Cabreira, identificados na área onde foram realizados os voos, podem ser visualizados na ortofoto 3, figura 31. As áreas visíveis com acumulação de blocos foram delimitadas em 7 polígonos, nomeadas de Blockslope_A1 a A7, (tabela 2).

Tabela 2 – Dimensão das áreas das lajes delimitadas através da ortofoto 3.

Área dos 7 polígonos de Blockslope								
	Blockslope_A1	Blkslp_A2	Blkslp_A3	Blkslp_A4	Blkslp_A5	Blkslp_A6	Blkslp_A7	Área total (m2)
Área (m2)	1243	778	368	341	4161	1699	964	9554

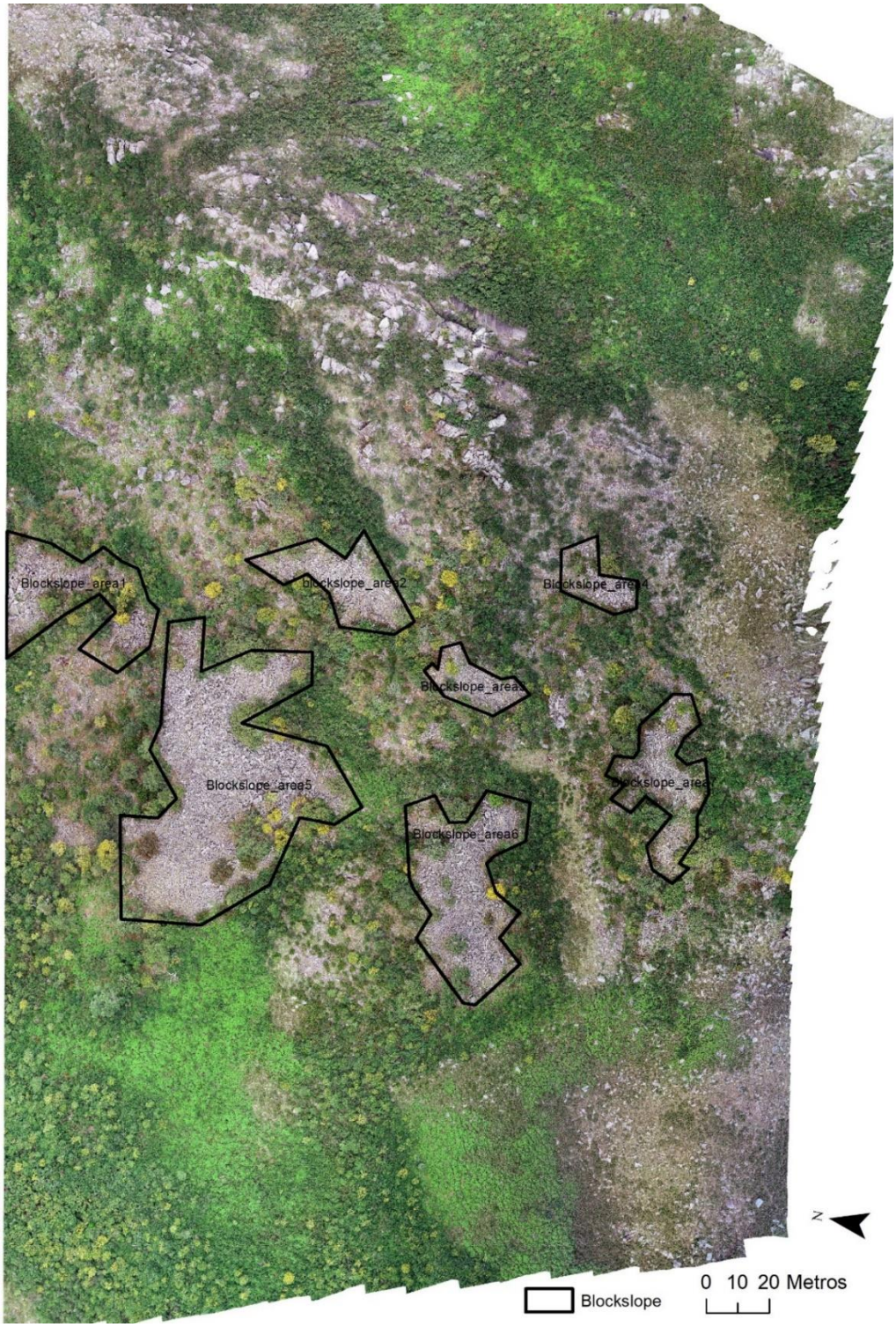


Figura 31 – Orto 3, Serra da Cabreira - Delimitação das áreas com Blockslope.

Na delimitação das 7 áreas de lajes, utilizou-se como base a ortofoto 3, adicionada ao programa ArcMap.

3.2 Análise morfológica dos Blockslope na Serra da Cabreira

A implementação da análise morfológica dos Blockslope, recorrendo a imagens de drone que originaram as ortofotos, necessita, nesta fase, do desenvolvimento da metodologia proposta na introdução desta dissertação. A definição do método de trabalho baseia-se em metodologias aplicadas em estudos geomorfológicos.

Pérez-Alberti et al., (2012), estudaram as acumulações rochosas em duas áreas da plataforma granítica na costa da Galiza: Península de Barbanza e Costa Sul da Galiza, no Noroeste de Espanha. As rochas têm origem na erosão das plataformas costeiras, e das arribas, constituídas por depósitos do último período glaciar. Nesse estudo, de impacto da energia das ondas, foram efetuadas as seguintes medições: ao eixo mais comprido, orientação e inclinação em 800 blocos. Adicionalmente mediram-se os eixos intermédios e os eixos mais curtos de 340 blocos. Como resultado, comparando os valores médios medidos nas duas áreas, constataram que as rochas da Península de Barbanza são mais pequenas (0,98) do que as da costa sul da Galiza (1,06). As medições foram efetuadas no terreno com fita métrica, após levantamento cartográfico com (Trimble GPS GeoExplorer XH) e imagens aéreas, i.e., dados LiDAR com resolução de 10 cm e 2 ortofotos com resolução de 25 cm.

Harriott & Evans (2022), desenvolveram um estudo com o objetivo de caraterizar e cartografar a morfologia e a distribuição das formas de relevo periglaciais em 4 cumes a norte, e 5 cumes a sul de Dartmoor, Sudoeste de Inglaterra. O desenvolvimento e maturidade dos “Tor” foram avaliados através duma classificação segundo um esquema triplo, utilizando combinação de fotografias aéreas, imagens de satélite e verificações no terreno. A metodologia empregue combinou a vetorização manual de alguns elementos tais como “Tors” e a identificação automática de rochas superficiais através das suas assinaturas espectrais. Resultando numa classificação dos cumes da seguinte forma: T0 - ausência de “Tor” ; T1 – cumes com um “Tor” acastelado e de alto relevo (> 5 metros), e ; T2 – cumes com um “Tor” de relevo baixo (< 5 metros).

Tendo como base os exemplos descritos nos parágrafos anteriores, procedeu-se ao desenvolvimento da metodologia de análise dos Blockslope, iniciando-se as medições dos parâmetros: comprimento, largura e orientação do bloco (figura 32). Para tal, foi criado um projeto no programa ESRI ArcMap, versão 10.8.1., e adicionada a ortofoto 3, que continha as áreas com blocos já delimitadas.

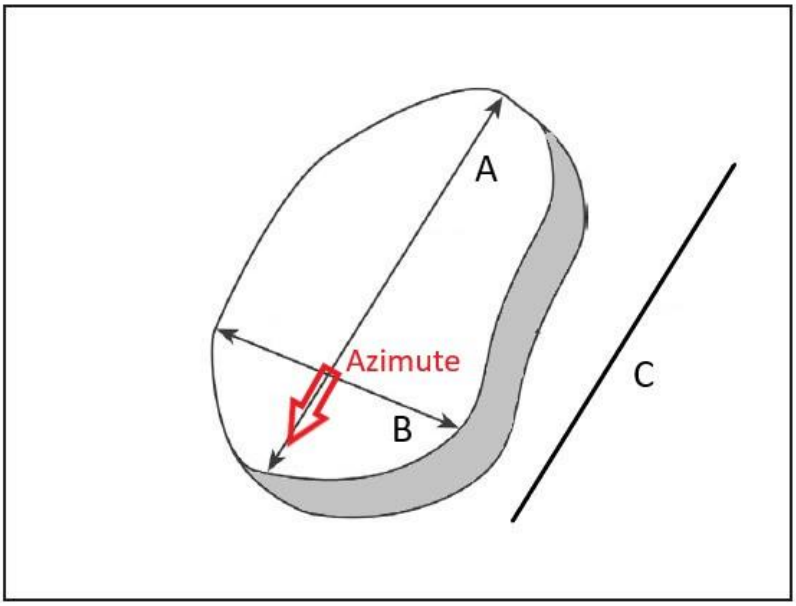


Figura 32 – Os três eixos da metodologia: A) comprimento; B) largura; C) Orientação (Fonte: Rosenberg & Shtoben-Zisu, 2010 - adaptado).

Nos polígonos de cada uma das 7 áreas, procedeu-se a uma seleção dos 20 maiores blocos, desenhando-se posteriormente em cada um dos 20 blocos, segmentos de linha, na face ou no lado da rocha com maior comprimento. Após se ter medido o comprimento a todos os blocos das 7 áreas , procedeu-se da mesma forma para medir a largura. A figura 33, apresenta a distribuição dos 20 maiores blocos nas 7 áreas.

Os segmentos de reta foram desenhados com as seguintes ferramentas: *Drawing / Line,* após isso*,* criaram-se shapefiles para os dois segmentos: comprimento e largura, através de: *Drawing / Convert Graphics To Features.*

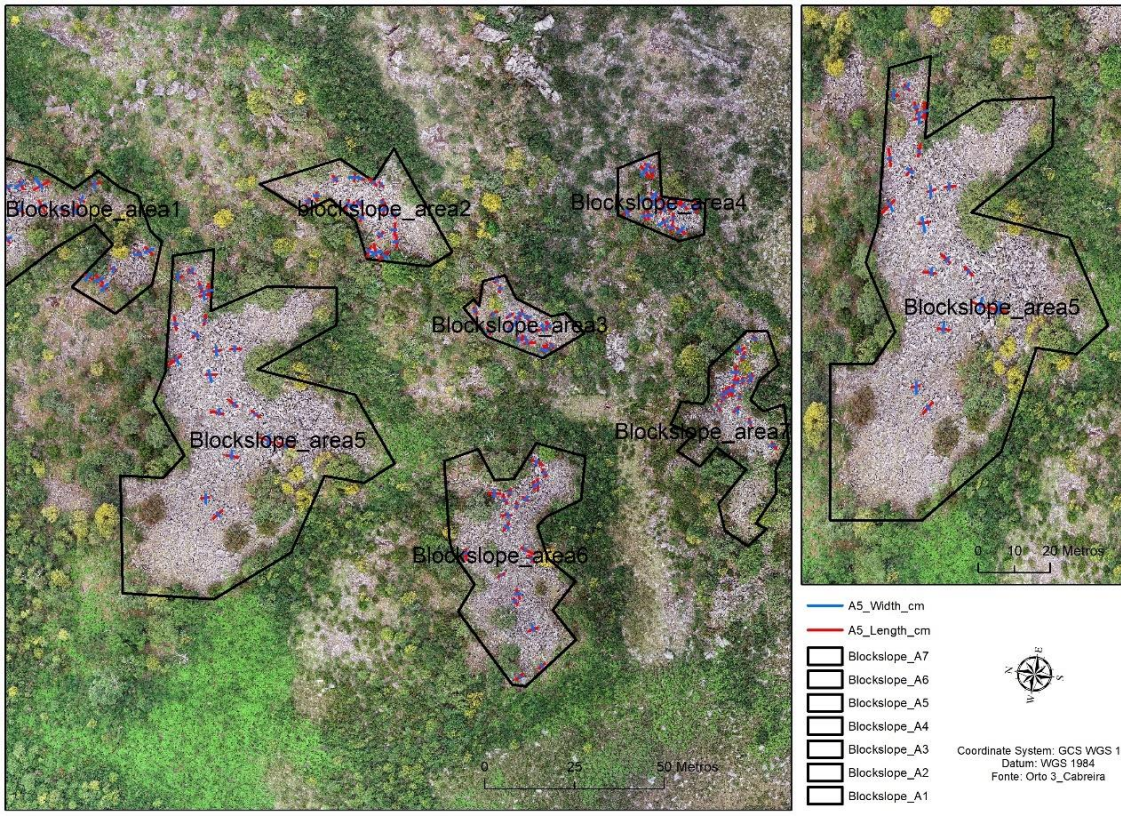
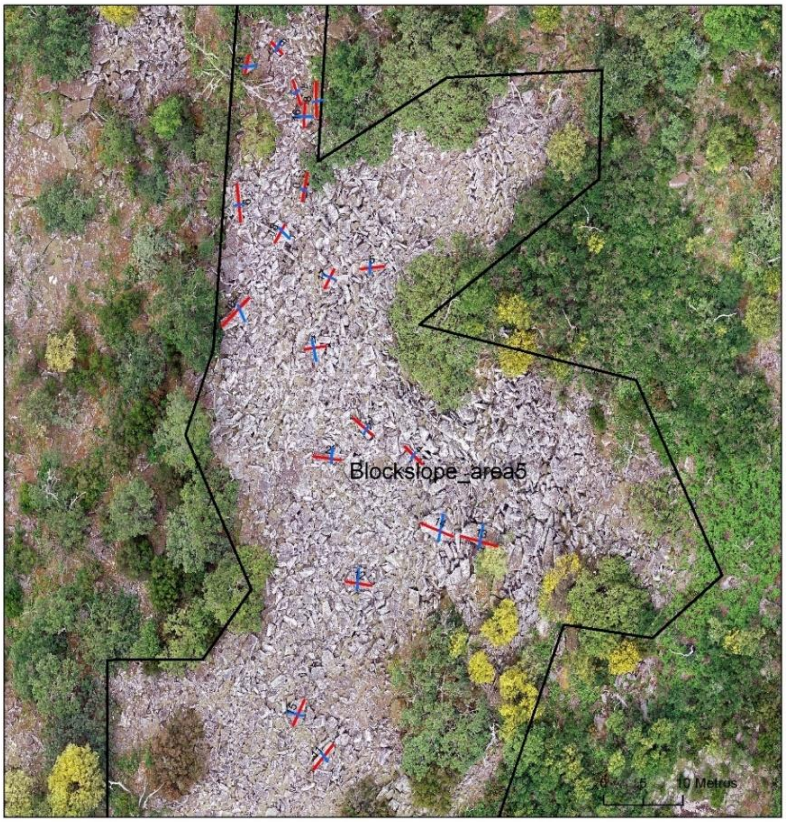


Figura 33 – Blockslope nas áreas delimitadas: a) Identificação dos 20 maiores blocos nas 7 áreas; b) Zoom na área 5.

Os segmentos de linha, ao serem convertidos em *shapefile(s),* geram tabelas de atributos, que nos podem indicar qual o comprimento ou largura, recorrendo à ferramenta:

Add/Field /…/ Calculate Geometry. Na tabela da figura 34, podemos visualizar as dimensões dos parâmetros, comprimento e largura, dos 20 maiores blocos selecionados, na área 5 da ortofoto.



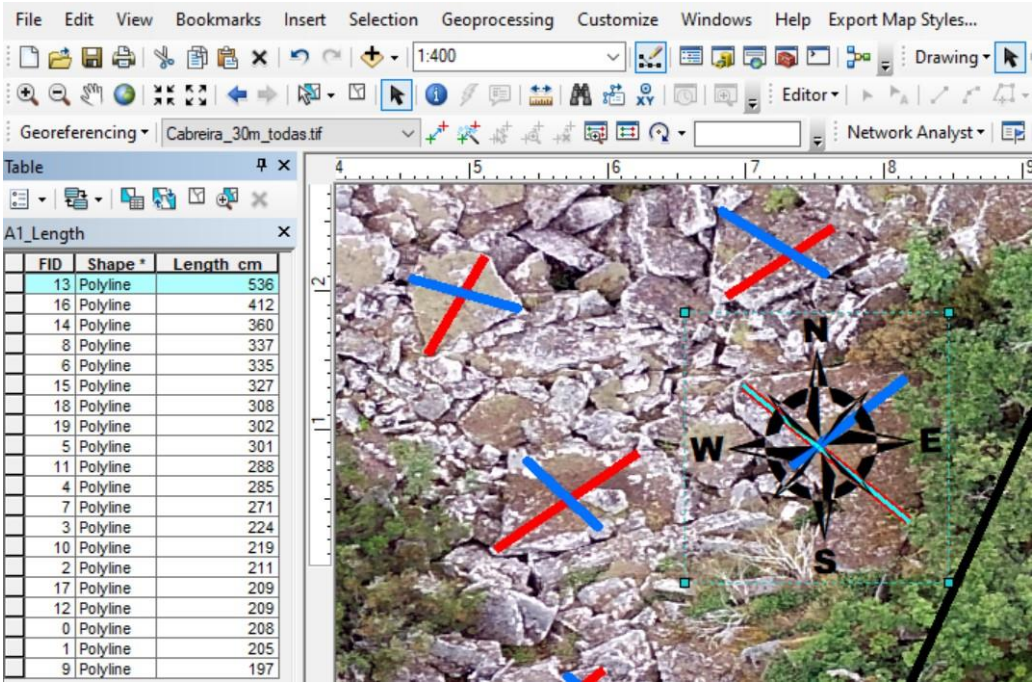
Blockslope Área 5 Comprimento e Largura

FID	Length_cm	Width_cm
13	467	207
14	427	257
10	411	178
9	361	99
2	342	138
8	338	116
11	320	120
12	319	191
3	299	89
5	286	117
4	278	66
15	272	208
0	269	68
1	266	217
7	248	69
16	229	216
17	204	144
18	191	182
6	183	121
19	183	171

Figura 34 – Dimensões dos 20 maiores blockslope na área 5.

Na tabela da figura 34, podemos constatar que nesta área de Blockslope, o comprimento dos blocos, ordenado de forma decrescente, está compreendido entre 4,67 e 1,83 metros, verificando-se uma grande variedade de dimensões. Relativamente ao parâmetro largura, a diversidade das dimensões é mais variável e regista valores entre os 66 cm e os 2,57 metros

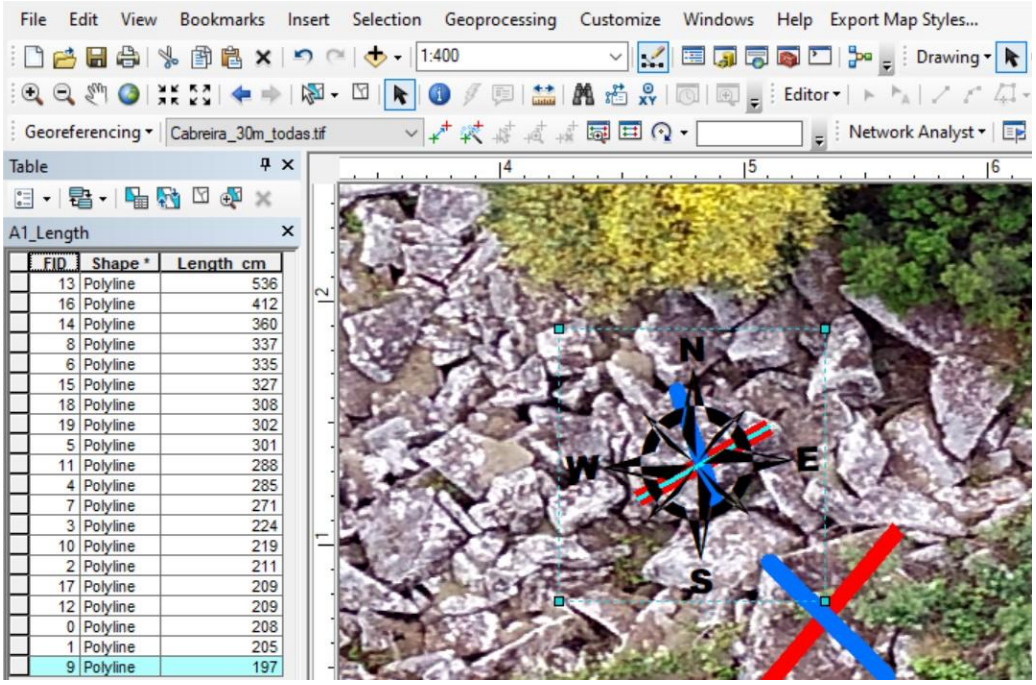
Para determinar a orientação das lajes, colocou-se o símbolo "*North Arrow*" alinhado sobre os segmentos traçados para medir o comprimento e teve-se em conta o declive da encosta. Exemplifica-se a metodologia nas figuras 35 e 36.



FID	Shape *	Length_cm
13	Polyline	536
16	Polyline	412
14	Polyline	360
8	Polyline	337
6	Polyline	335
15	Polyline	327
18	Polyline	308
19	Polyline	302
5	Polyline	301
11	Polyline	288
4	Polyline	285
7	Polyline	271
3	Polyline	224
10	Polyline	219
2	Polyline	211
17	Polyline	209
12	Polyline	209
0	Polyline	208
1	Polyline	205
9	Polyline	197

Figura 35 – Determinação da orientação do segmento (comprimento) dos 20 maiores blocos, pontos colaterais.

Na figura 35, utilizando como regra, o sentido dos ponteiros do relógio, o segmento FID 13, foi registado nos dados com orientação: Sudeste (SE -135º).



FID	Shape *	Length_cm
13	Polyline	536
16	Polyline	412
14	Polyline	360
8	Polyline	337
6	Polyline	335
15	Polyline	327
18	Polyline	308
19	Polyline	302
5	Polyline	301
11	Polyline	288
4	Polyline	285
7	Polyline	271
3	Polyline	224
10	Polyline	219
2	Polyline	211
17	Polyline	209
12	Polyline	209
0	Polyline	208
1	Polyline	205
9	Polyline	197

Figura 36 – Determinação da orientação do segmento (comprimento) dos 20 maiores blocos, pontos subcolaterais.

Na figura 36, o segmento FID 9, foi registado nos dados com orientação: ÉS-Nordeste (ENE – 67,5º). O tamanho do "*North Arrow*" foi sendo ajustado, em função do tamanho dos segmentos, com o objetivo de se conseguir a melhor visualização e uma

definição mais precisa da orientação, principalmente nos pontos subcolaterais. Seguindo o movimento dos ponteiros do relógio, as orientações da Rosa dos Ventos entre 0º e 180º encontram-se resumidas na tabela 3, onde, para efeitos de demonstração de resultados, foi atribuída uma identificação numérica (ID) a cada sentido de orientação.

Tabela 3 - Identificação numérica dos sentidos de orientação.

Orientação	Graus	Abreviatura	ID
Norte	0	N	1
Nor-Nordeste	22,5	NNE	2
Nordeste	45	NE	3
És-Nordeste	67,5	ENE	4
Este	90	E	5
És-Sudeste	112,5	ESE	6
Sudeste	135	SE	7
Su-Sudeste	157,5	SSE	8

De seguida, na figura 37, apresentam-se os 20 maiores blockslope localizados na área 1, e na tabela 4, o registo dos valores: comprimento, largura e orientação.

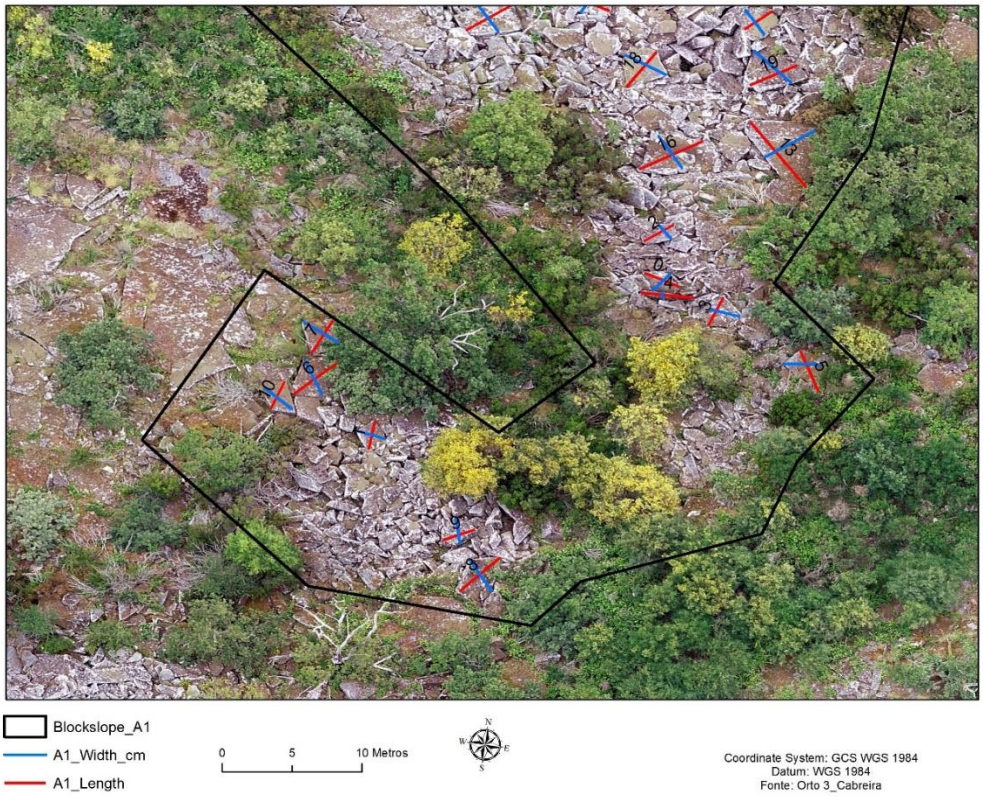


Figura 37 – Dimensões e orientação dos 20 maiores Blockslope na área 1.

Da amostra de dados resultante das medições efetuadas na área 1, determinou-se também o valor da média, o valor máximo, o valor mínimo e a frequência de vezes em que a mesma orientação se verifica, tabela 4.

Tabela 4 - Dimensões e orientação dos Blockslope na Área 1.

Blockslope Área 1: Comprimento, Largura e Orientação				
FID	Length_cm	Width_cm	Orientação	ID
13	536	335	135°	7
16	412	247	45°	3
14	360	327	45°	3
8	337	240	45°	3
6	335	248	45°	3
15	327	199	45°	3
18	308	243	45°	3
19	302	289	45°	3
5	301	187	135°	7
11	288	142	112,5°	6
4	285	35	90°	5
7	271	226	45°	3
3	224	159	22,5°	2
10	219	200	22,5°	2
2	211	108	45°	3
17	209	172	45°	3
12	209	192	45°	3
0	208	157	112,5°	6
1	205	156	0°	1
9	197	184	67,5°	4

Blockslope Área 1: média, valor máximo, valor mínimo (comprimento e largura) e frequência (orientação)				
	Length_cm	Width_cm	Orientação	Frequência
Média	287	202	0°	1
			22,5°	2
Valor máximo	536	335	45°	11
			67,5°	1
			90°	1
Valor mínimo	197	35	112,5°	2
			135°	2
			157,5°	0

Analisando os dados da tabela 4, salienta-se a predominante orientação Nordeste (NE-45º), nos blockslope da área 1, tendo-se verificado a contagem de 11 frequências em 20.

O mesmo procedimento de medição e identificação da orientação foi realizado aos blockslope das áreas 2, 3, 4, 5, 6, e 7.

Nas figuras 38 a 43, apresentam-se os dados apurados em cada área, procedendo-se a uma análise dos valores contabilizados relativamente à orientação.

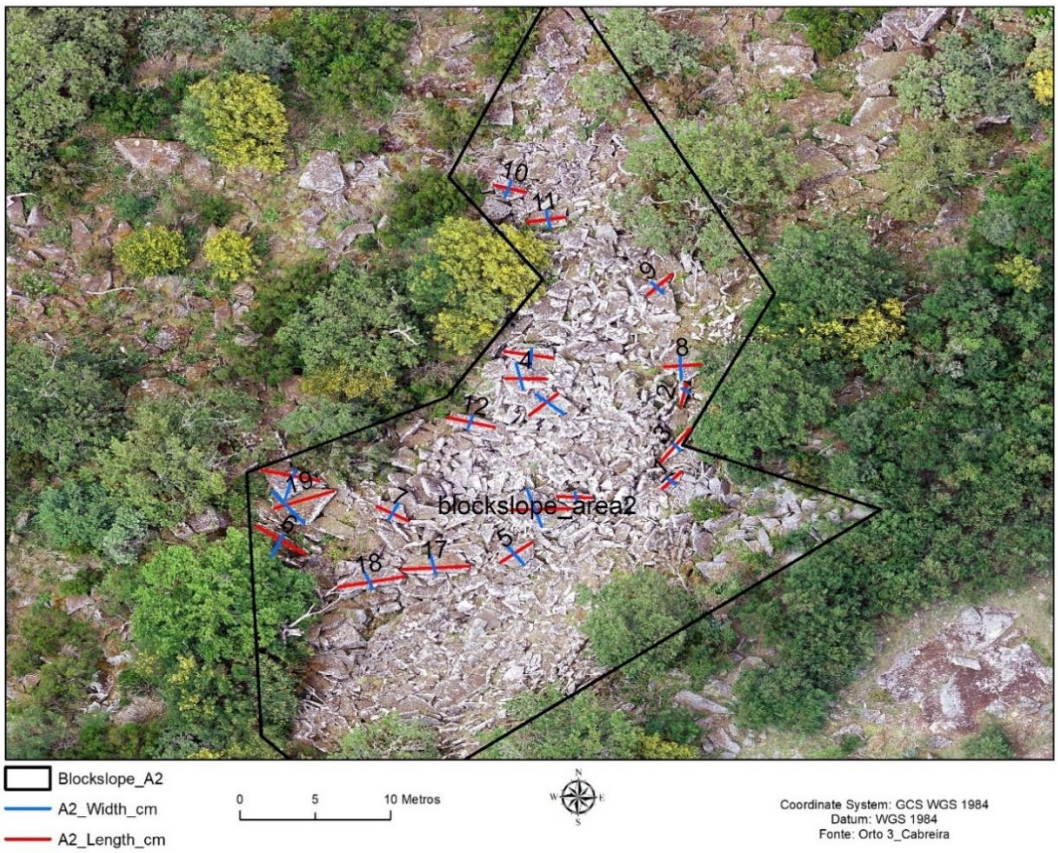


Figura 38 - Dimensões e orientação dos 20 maiores Blockslope na área 2.

Analisando a figura 38 e a tabela 5, relativas à área 2, salienta-se a predominante orientação Este (E-90º), tendo-se verificado a contagem de 10 frequências em 20.

Tabela 5 - Dimensões e orientação dos Blockslope na Área 2.

Blockslope Área 2: Comprimento, Largura e Orientação				
FID	Length_cm	Width_cm	Orientação	ID
17	341	119	90°	5
18	331	118	90°	5
19	317	263	67,5°	4
16	302	255	90°	5
6	300	154	135°	7
15	296	203	90°	5
3	267	52	45°	3
14	243	117	90°	5
12	238	91	112,5°	6
4	207	176	90°	5
5	206	143	45°	3
13	202	193	45°	3
11	192	117	90°	5
8	186	164	90°	5
9	183	94	45°	3
7	178	118	112,5°	6
0	171	62	90°	5
10	163	111	90°	5
2	151	42	0°	1
1	150	50	45°	3

Blockslope Área 1: média, valor máximo, valor mínimo (comprimento e largura) e frequência (orientação)				
	Length_cm	Width_cm	Orientação	Frequência
Média	287	202	0°	1
			22,5°	0
Valor máximo	536	335	45°	5
			67,5°	1
			90°	10
Valor mínimo	197	35	112,5°	2
			135°	1
			157,5°	0

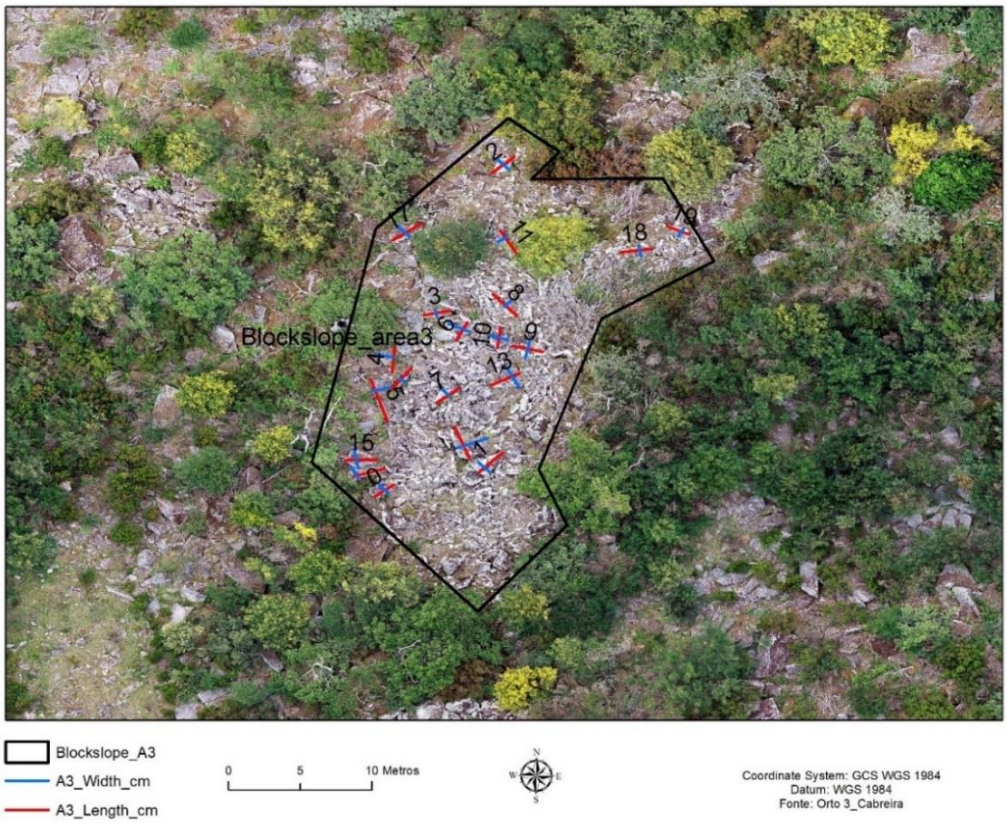


Figura 39 - Dimensões e orientação dos 20 maiores Blockslope na área 3.

Analisando a figura 39 e a tabela 6, relativas à área 3, Nordeste (NE-45º), regista 7 frequências em 20.

Tabela 6 - Dimensões e orientação dos Blockslope na Área 3.

Blockslope Área 3: Comprimento, Largura e Orientação				
FID	**Length_cm**	**Width_cm**	**Orientação**	**ID**
5	308	101	157,5°	8
14	235	177	157,5°	8
12	193	38	45°	3
8	193	54	135°	7
17	188	97	45°	3
1	186	88	45°	3
11	174	57	135°	7
13	172	156	67°	4
16	170	84	67°	4
4	167	100	0	1
2	166	89	45°	3
15	164	128	90°	5
18	161	72	90°	5
9	160	129	90°	5
7	156	56	45°	3
10	139	97	0	1
6	137	126	45°	3
3	137	48	90°	5
0	128	72	45°	3
19	127	67	112,5°	6

Blockslope Área 3: média, valor máximo, valor mínimo (comprimento e largura) e frequência (orientação)				
	Length_cm	**Width_cm**	**Orientação**	**Frequência**
Média	173	92	0°	2
			22,5°	0
Valor máximo	308	177	45°	7
			67,5°	2
			90°	4
Valor mínimo	127	38	112,5°	1
			135°	2
			157,5°	2

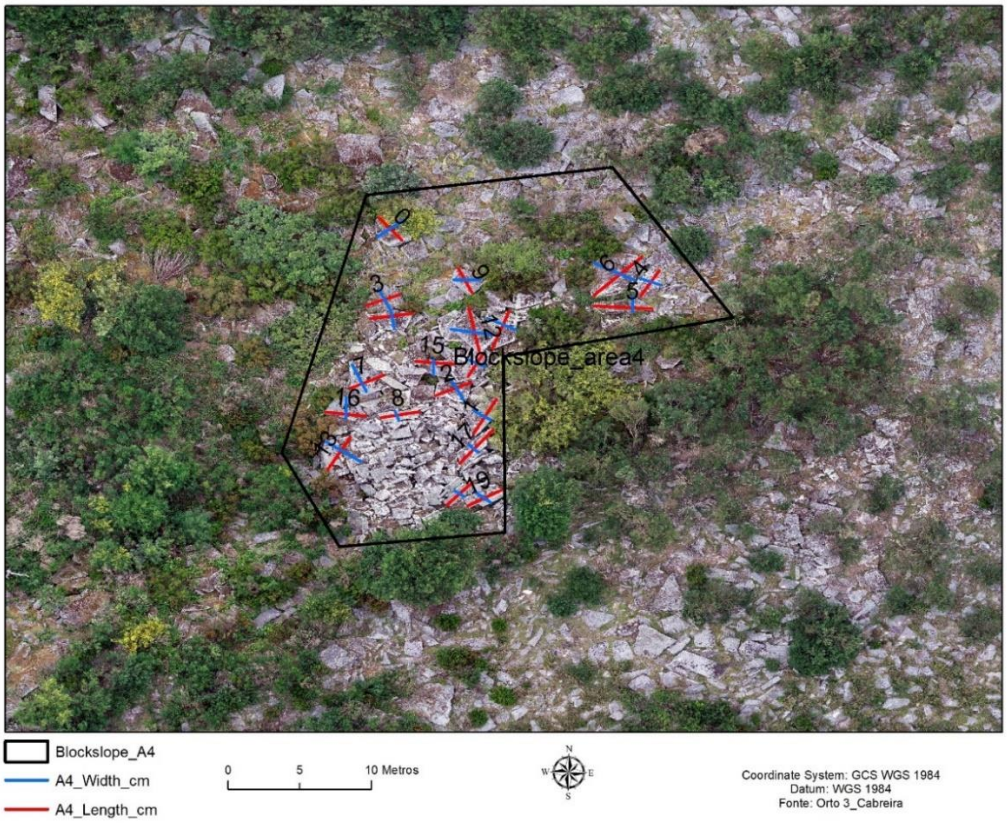


Figura 40 - Dimensões e orientação dos 20 maiores Blockslope na área 4.

Analisando a figura 40, e a tabela 7, relativas à área 4, a orientação Nordeste (NE-45º), regista 7 frequências em 20, igual à área 3.

Tabela 7 - Dimensões e orientação dos Blockslope na Área 4.

Blockslope Área 4: Comprimento, Largura e Orientação				
FID	**Length_cm**	**Width_cm**	**Orientação**	**ID**
6	369	241	45°	3
12	311	234	157,5°	8
5	305	106	90°	5
17	291	70	45°	3
10	277	169	22,5°	2
1	269	111	45°	3
13	254	225	45°	3
11	218	136	90°	5
16	212	140	90°	5
19	212	110	67,5°	4
2	208	158	67,5°	4
18	206	65	45°	3
8	204	66	90°	5
15	202	106	90°	5
7	201	199	67,5°	4
4	200	117	45°	3
0	196	189	135°	7
3	192	141	67,5°	4
9	185	137	135°	7
14	169	103	45°	3

Blockslope Área 4: média, valor máximo, valor mínimo (comprimento e largura) e frequência (orientação)				
	Length_cm	**Width_cm**	**Orientação**	**Frequência**
Média	234	141	0°	0
			22,5°	1
Valor máximo	369	241	45°	7
			67,5°	4
			90°	5
Valor mínimo	169	65	112,5°	0
			135°	2
			157,5°	1

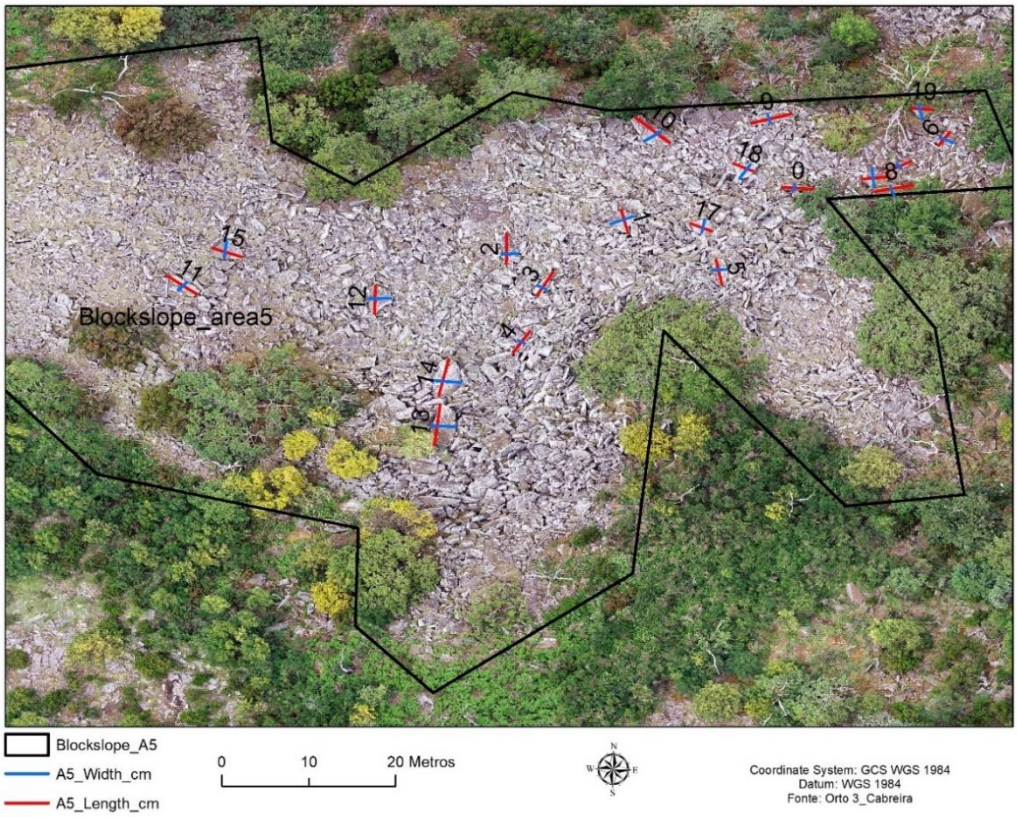


Figura 41 - Dimensões e orientação dos 20 maiores Blockslope na área 5.

A dimensão da área 5, é a maior das 7 localizações delimitadas (figura 41), na tabela 8, os sentidos de orientação registados distribuem-se quase equitativamente.

Tabela 8 - Dimensões e orientação dos Blockslope na Área 5.

Blockslope Área 5: Comprimento, Largura e Orientação				
FID	Length_cm	Width_cm	Orientação	ID
13	467	207	0°	1
14	427	257	0°	1
10	411	178	135°	7
9	361	99	90°	5
2	342	138	0°	1
8	338	116	90°	5
11	320	120	135°	7
12	319	191	0°	1
3	299	89	45°	3
5	286	117	157,5°	8
4	278	66	45°	3
15	272	208	112,5°	6
0	269	68	90°	5
1	266	217	157,5°	8
7	248	69	67,5°	4
16	229	216	90°	5
17	204	144	112,5°	6
18	191	182	112,5°	6
6	183	121	45°	3
19	183	171	90°	5

Blockslope Área 5: média, valor máximo, valor mínimo (comprimento e largura) e frequência (orientação)				
	Length_cm	Width_cm	Orientação	Frequência
Média	295	149	0°	4
			22,5°	0
Valor máximo	467	257	45°	3
			67,5°	1
			90°	5
Valor mínimo	183	66	112,5°	3
			135°	2
			157,5°	2

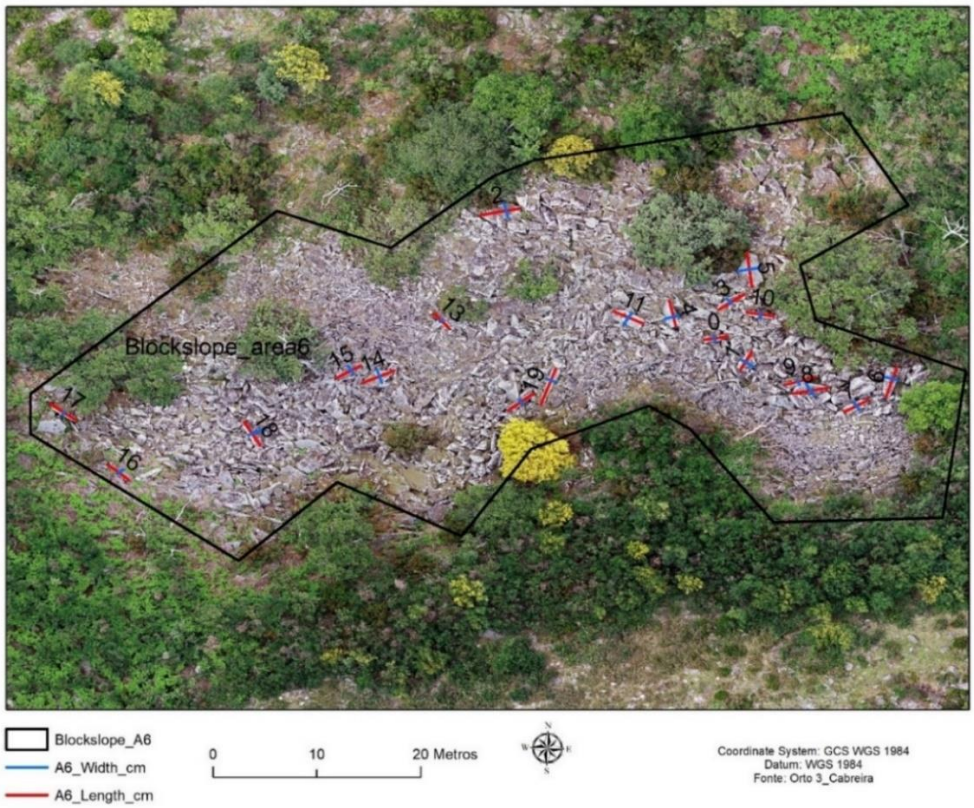


Figura 42 - Dimensões e orientação dos 20 maiores Blockslope na área 6.

A dimensão da área 6, figura 42, é a segunda maior das 7, a direção Este (E-90º) regista 20% da amostra e a direção (NE-45º) com 5 frequências equivale a 25% do total, (tabela 9).

Tabela 9 - Dimensões e orientação dos Blockslope na Área 6.

Blockslope Área 6: Comprimento, Largura e Orientação				
FID	Length_cm	Width_cm	Orientação	ID
19	361	62	22,5°	2
5	334	167	0°	1
6	293	93	22,5°	2
2	292	139	90°	5
14	258	135	67,5°	4
8	256	123	90°	5
18	253	166	135°	7
4	246	109	157,5°	8
12	242	46	45°	3
11	240	122	112,5°	6
17	240	41	135°	7
3	235	64	45°	3
9	227	50	67,5°	4
15	212	84	45°	3
7	210	74	45°	3
16	198	63	135°	7
10	194	62	90°	5
1	183	109	45°	3
13	181	24	135°	7
0	173	58	90°	5

Blockslope Área 6: média, valor máximo, valor mínimo (comprimento e largura) e frequência (orientação)				
	Length_cm	Width_cm	Orientação	Frequência
Média	241	90	0°	1
			22,5°	2
Valor máximo	361	167	45°	5
			67,5°	2
			90°	4
Valor mínimo	173	24	112,5°	1
			135°	4
			157,5°	1

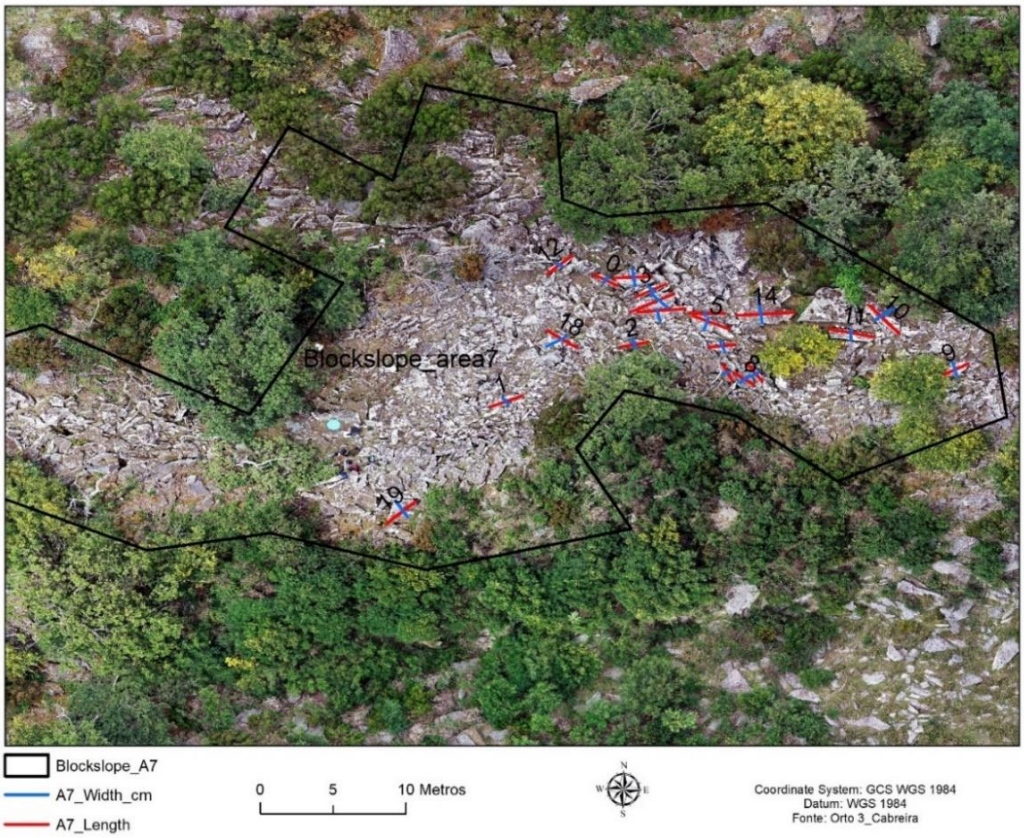


Figura 43 - Dimensões e orientação dos 20 maiores Blockslope na área 7.

Relativamente à área 7, (figura 43), a orientação Este-Oeste (E-O), prevalece com o maior número de registos, contabilizando 7 em 20 frequências, (tabela 10).

Tabela 10 - Dimensões e orientação dos Blockslope na Área 7.

Blockslope Área 7: Comprimento, Largura e Orientação				
FID	Length_cm	Width_cm	Orientação	ID
14	295	175	90°	5
16	257	126	67,5°	4
10	245	124	135°	7
17	245	83	90°	5
11	238	74	90°	5
19	215	128	45°	3
5	203	91	112,5°	6
18	193	124	135°	7
13	190	117	90°	5
15	181	26	90°	5
1	181	58	67,5°	4
3	179	39	67,5°	4
12	177	38	45°	3
0	148	41	112,5°	6
2	143	59	90°	5
9	142	104	45°	3
6	139	71	90°	5
8	134	66	135°	7
7	131	51	135°	7
4	121	38	135°	7

Blockslope Área 7: média, valor máximo, valor mínimo (comprimento e largura) e frequência (orientação)				
	Length_cm	Width_cm	Orientação	Frequência
Média	188	82	0°	0
			22,5°	0
Valor máximo	295	175	45°	3
			67,5°	3
			90°	7
Valor mínimo	121	26	112,5°	2
			135°	5
			157,5°	0

A compilação de todos os parâmetros numa tabela conjunta permite agilizar a análise morfológica que poderá ser desenvolvida, por área ou na totalidade. A tabela 11 reúne os dados dos 140 blocos, integrantes das 7 áreas de estudo delimitadas e apresentadas supra.

Tabela 11 – Resumo das dimensões e orientação dos 20 maiores blockslope das 7 áreas de estudo.

Tabela resumo da análise de dados aos 140 blocos das 7 áreas									
	Blockslope_A1	Blkslp_A2	Blkslp_A3	Blkslp_A4	Blkslp_A5	Blkslp_A6	Blkslp_A7	Área total (m2)	
Área (m2)	1243	778	368	341	4161	1699	964	9554	
Medida do segmento comprimento (cm)								Intervalo	
Valor Máximo	536	341	308	369	467	361	295	[295 ; 536]	
Valor Mínimo	197	150	127	169	183	173	121	[121 ; 197]	
Valor da média	287	231	173	234	295	241	188	[173 ; 295]	
Medida do segmento largura (cm)								Intervalo	
Valor Máximo	335	263	177	241	257	167	175	[167 ; 335]	
Valor Mínimo	35	42	38	65	66	24	26	[24 ; 66]	
Valor da média	202	132	92	141	149	90	82	[82 ; 202]	
Frequência da orientação do segmento comprimento (pontos cardeais,colaterias e subcolaterais)								Total	Percentagem
N-0°	1	1	2	0	4	1	0	9	6%
NNE-22,5°	2	0	0	1	0	2	0	5	4%
NE-45°	11	5	7	7	3	5	3	41	29%
ENE-67,5°	1	1	2	4	1	2	3	14	10%
E-90°	1	10	4	5	5	4	7	36	26%
ESE112,5°	2	2	1	0	3	1	2	11	8%
SE-135°	2	1	2	2	2	4	5	18	13%
SSE-157,5°	0	0	2	1	2	1	0	6	4%

N (Norte); NNE (Nor-Nordeste); NE (Nordeste); ENE (És-Nordeste);E (Este); ESE (És-Sudeste); SE (Sudeste); SSE (Su-Sudeste).

A síntese dos dados presente na tabela 11, recordando que resultam de dados obtidos através de imagens de VANT, permite efetuar algumas análises, tais como:

- A presença de 9554 m^2 de área com Blockslope visíveis,
- A dimensão das 7 áreas não é uniforme
- A área 5 é a maior das 7. Apresenta blocos com dimensões muito variadas, mais estratificados, localizada a Norte das restantes e numa curva de nível inferior, aparenta ser uma área de acumulação.
- O comprimento dos 140 Blockslope varia entre 1,21 m e 5,36 metros,
- A largura dos 140 Blockslope varia entre 24 cm e 3,35 metros,
- A orientação de 65% dos eixos do segmento de maior comprimento está no 1º quadrante da Rosa dos Ventos, direções (NE-SO; ENE-OSO; e E-O).

4. Acumulações de blocos de origem periglaciária na Serra da Cabreira e o Ordenamento do Território

O conhecimento aprendido até ao momento e a confirmação de que os Blockslope existentes na Serra da Cabreira são vestígios periglaciares, determinam a necessidade de analisar a sua condição em termos de Ordenamento do Território (OT), pela sua importância como património geomorfológico. O propósito deste capítulo é proceder a uma análise dos Instrumentos de Gestão Territorial (IGT), principalmente as plantas do Plano Diretor Municipal (PDM), no sentido de pesquisar a classificação do território na área de Talefe – Chã de Lousas – Toco, integrante da Rede Ecológica Nacional (REN), onde se localizam os vestígios periglaciares, e se estão salvaguardados em termos de proteção e conservação por algum normativo legislativo.

4.1 Análise dos Instrumentos de Gestão Territorial

Os conjuntos de blockslope fotografados pelo drone e, patentes nas ortofotos que resultaram do processamento, localizam-se na área envolvente do Toco, Serra da Cabreira, Município de Vieira do Minho. Para visualizar o Plano Diretor Municipal, foi consultado o website municipal em: https://cm-vminho.pt/municipio/documentos-e-relatorios/plano-do-diretor-municipal/. Foram consultados os seguintes documentos:

- Carta de Qualificação Funcional do Solo; folha 44, versão 13 de 2017,
- Carta de Condicionantes; folha 44, versão 15 de 2014,
- Carta de Salvaguardas e Execução do Plano; folha 44, versão 13 de 2014,
- Carta do Património; folha 44, versão 12 de 2014.

A Carta de Qualificação Funcional do Solo, estabelece o regime do uso do solo. Segundo o extrato da folha nº. 44, figura 44, na encosta a Norte do Toco e área ao redor, o solo está classificado como sendo “Espaço Florestal de Proteção” e integrado na “Estrutura Ecológica Fundamental”.

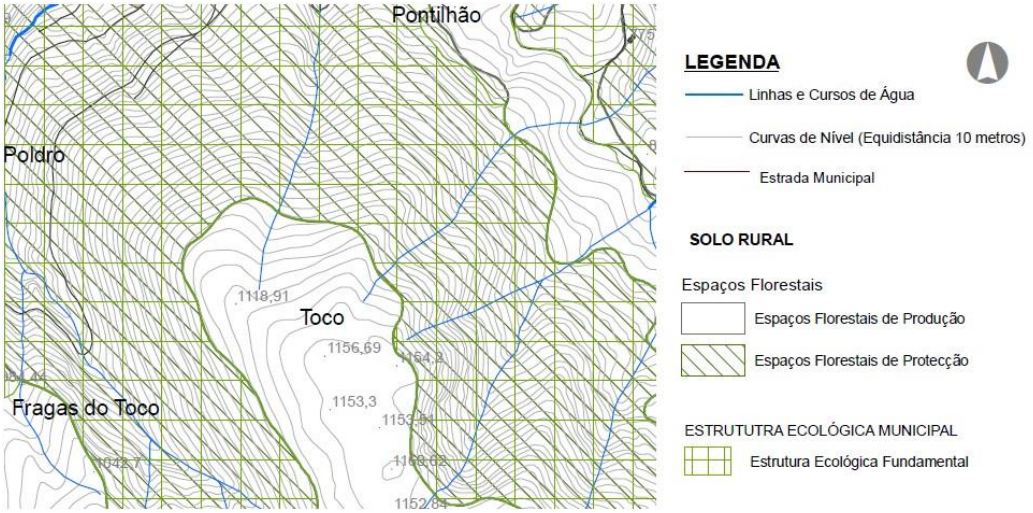


Figura 44 - Extrato da Carta de Qualificação Funcional do Solo, folha 44 V13, 2017 – PDM de Vieira do Minho.

A carta de condicionantes identifica as servidões administrativas e as restrições de utilidade pública. Na área do planalto do Toco, segundo a folha nº. 44 da Carta de Condicionantes do PDM de Vieira do Minho, figura 45, no "Perímetro Florestal da Serra da Cabreira" encontram-se Infraestruturas Energéticas com implantação de aerogeradores.

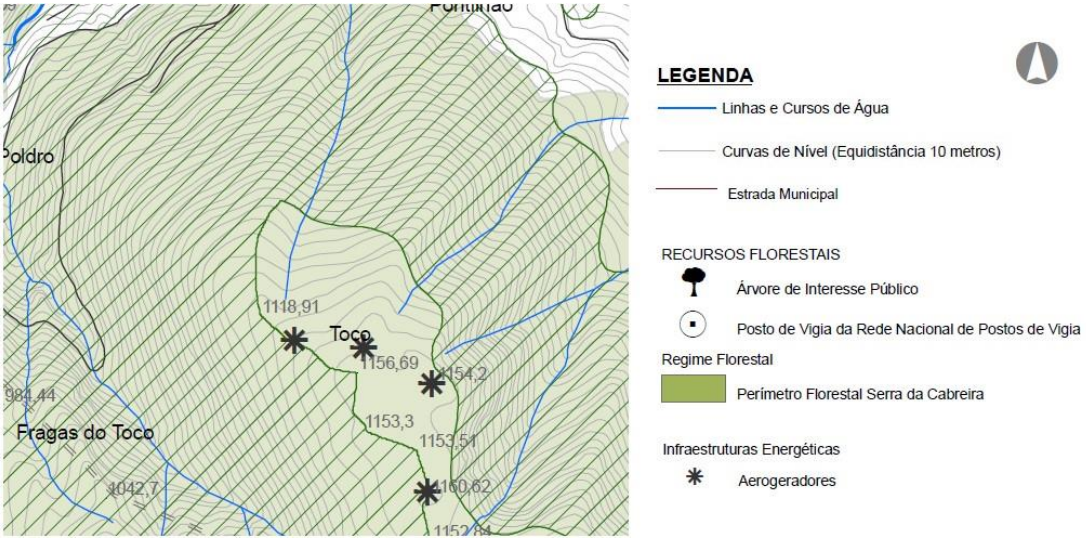


Figura 45 – Extrato da Carta Condicionantes, folha 44 V15, 2014 – PDM de Vieira do Minho.

A carta de salvaguarda tem como finalidade a proteção e preservação do património natural, paisagístico e cultural. No extrato da Carta de Salvaguardas e Execução do Plano, folha nº. 44, figura 46, verifica-se na área central do Toco, a existência de elementos considerados como património arquitetónico e arqueológico.

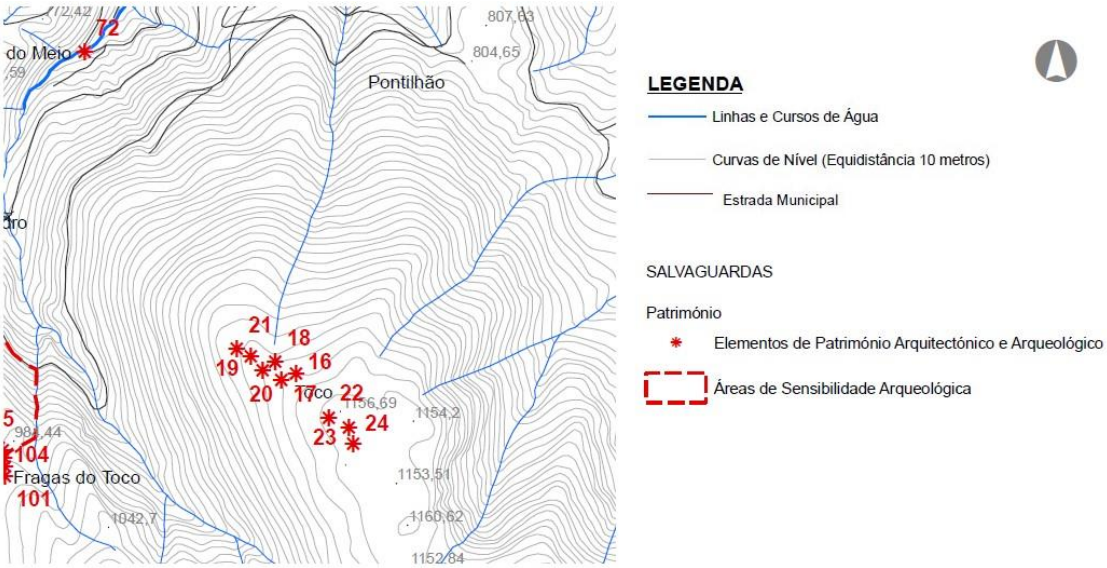


Figura 46– Extrato da Carta de Salvaguardas, folha 44 V13, 2014 – PDM de Vieira do Minho.

Por último, consultou-se a Carta de Património, folha nº. 44, que complementa a Carta de Salvaguardas e Execução do Plano, pormenorizando os elementos considerados como património. Como podemos visualizar na figura 47, as "Cabanas do Toco", num total de 9, encontram-se classificadas como património arqueológico.

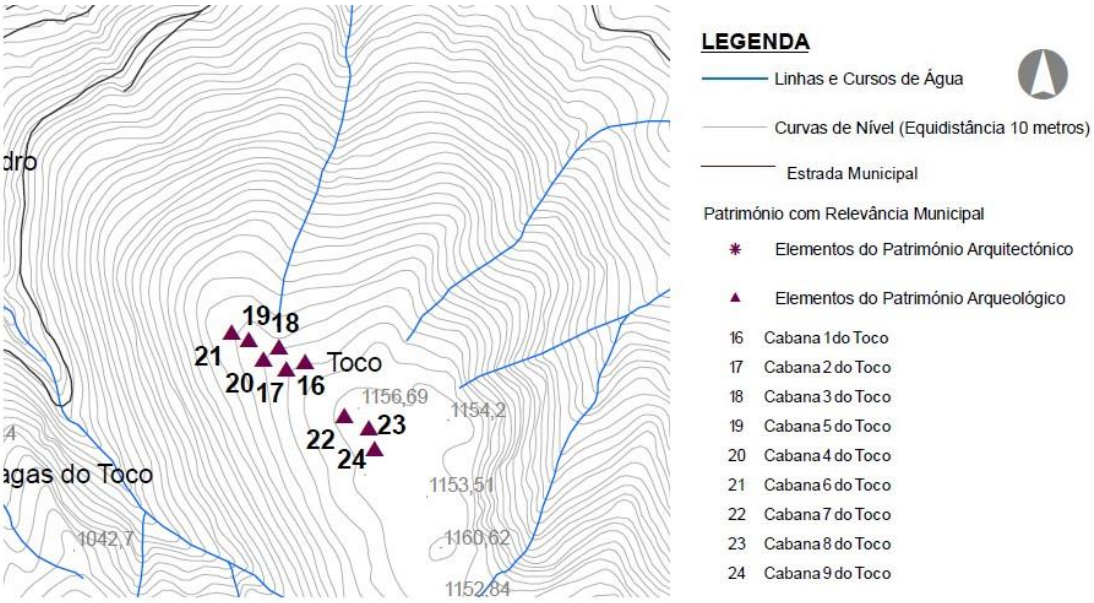


Figura 47 - Extrato da Carta de Património, folha 44 V12, 2014 – PDM de Vieira do Minho.

Da análise destes 4 documentos, não se constata que os Blockslope e/ou os Tor estejam cartografados com algum regime de proteção. A área que circunda o maciço culminante do Toco é classificada como: “Espaços Florestais de Proteção e “Estrutura Ecológica Fundamental” (figura 44), englobando os Blockslope.

No mapa da figura 48 apresento a área que foi fotografada pelo drone, onde se encontram os Blockslope, na encosta Norte a jusante do Toco, identificada pelo nome: “ortofoto_30m”, assim como, a localização dos aerogeradores e das cabanas de pastores do Toco, referidos nas cartas do PDM.

Figura 48 – Mapa da localização dos BlockSlope, Aerogeradores e Cabanas de Pastores, no Toco, Serra da Cabreira.

As cabanas dos pastores da Serra da Cabreira, segundo o Portal do Turismo, disponível em: https://vieiraminhoturismo.com/roteiro-das-cabanas-dos-pastores/ fazem parte de um núcleo arqueológico que atestam a atividade agro-pastoril na região. Os abrigos acolhiam os pastores quando apascentavam o gado. As cabanas são construções de planta circular, construídas com gelifractos e blocos de granito (figura 49) e são datadas entre o final do século XVI e início do século XVIII.

Figura 49 - Cabanas de Pastores na Serra da Cabreira: a) Cabana Fundevila ; b) Cabana Manuel Dias ; c) Cabana Velha.

Nas saídas de estudo efetuadas à Serra da Cabreira foram colhidos registos fotográficos dos "Tor" e dos Blockslope. No sentido de mostrar algumas das morfologias existentes no planalto e encosta do Toco, apresentam-se 3 exemplares de fotos (figuras 50, 51 e 52).

Figura 50 - Lajes graníticas no topo aplanado do "Tor", Toco - Serra da Cabreira.

A foto da figura 50, foi obtida no planalto do Toco, apresenta um afloramento rochoso com as lajes graníticas quebradas pela ação do gelo, com pseudoestratificação paralela ao plano de vertente (Silva et al., 2006). Este exemplar tem uma altura superior a 2 metros aferidos pela régua que tem 15 segmentos de 10 centímetros cada.

Figura 51 - Encosta de blocos “Blockslope”, Toco – Serra da Cabreira (Área 7 do ortofoto_30m).

A encosta ladeada por blocos “Blockslope” é o que visualizamos na figura 51. A dimensão e posição dos blocos é muito variável.

Figura 52 – Conjunto de “Blockslope”, Toco – Serra da Cabreira. (Área 7 do ortofoto_30m).

Na figura 52, verifica-se que os Blockslope se encontram num perfil menos inclinado do que na figura 51, e isso, deve-se ao facto de se encontrarem numa zona com menor declive, contudo, constatam-se alguns blocos divergentes em termos de inclinação, alguns quase em posição vertical, tipo travão, assemelhando-se a um fluxo de blocos.

4.2 Geoconservação

A preservação de património geomorfológico e geológico encontra-se regulada através de legislação, designadamente pelo Decreto-Lei nº. 142/2008, de 24 de julho, republicado pelo Decreto-Lei nº. 242/2015 de 15 de outubro, que estipula o Regime Jurídico da Conservação da Natureza e da Biodiversidade (disponíveis em: https://diariodarepublica.pt/).

A definição de 27 categorias temáticas de relevância nacional ou internacional, serviram de base para a criação do inventário do património geológico de Portugal e dos Geossítios. A estratégia de geoconservação deve iniciar-se por um inventário de património geológico do território (Brilha et al., 2014). O inventário de Sítios com Interesse Geológico – Geossítios do território nacional está acessível para consulta através de: https://geossitios.progeo.pt/geosites. O website permite consultar informação através da indicação do Concelho, tendo sido realizada a pesquisa para o Municípo de Vieira do Minho. Por proposta de Paulo Pereira e Diamantino Pereira, "Os vestígios glaciários mais meridionais do noroeste da Península Ibérica das glaciações pleistocénicas", no Toco – Soutinho, encontram-se classificados como Geossítios. Consulta disponível em: https://geossitios.progeo.pt/geosites/toco-soutinho.

No sentido de enquadrar as atribuições e responsabilidades das entidades responsáveis pela gestão e preservação do território, efetuou-se consulta à legislação em vigor.

O regime jurídico da conservação da natureza e da biodiversidade, Decreto-Lei nº. 242 de 2015, no âmbito das áreas classificadas, define os geossítios como " *a área*

de ocorrência de elementos geológicos com reconhecido valor científico, educativo, estético e cultural" (artigo 3º, alínea i).

As autoridades responsáveis pela conservação da natureza e da biodiversidade, sem prejuízo das competências de outras entidades públicas, são: o Instituto de Conservação da Natureza e da Biodiversidade; as Comissões de Coordenação e Desenvolvimento Regional; e, as Associações de Municípios e os Municípios (Dec.Lei 242/2015, artigo 8º, alíneas a, b e c).

Compete às associações de Municípios e aos Municípios, "*gerir as áreas protegidas de âmbito regional ou local, respetivamente, e participar na gestão das áreas protegidas de âmbito nacional, designadamente por via da integração nos respetivos conselhos estratégicos"* (Decreto-Lei 242/2015, artigo 8º, alínea c). Estas atribuições já se encontravam estabelecidas no Decreto-Lei 142/2008.

A fiscalização está atribuída " *à autoridade nacional, especialmente através do serviço de vigilantes da natureza, Guarda Nacional Republicana/… /, às demais autoridades policiais e aos municípios"* (Decreto-Lei 242/2015, artigo 40º, ponto 2).

A instalação de parques eólicos para produção de energia de fonte renovável, tem sido uma das estratégias para a redução da dependência energética em Portugal. A localização desses empreendimentos encontra-se maioritariamente em áreas montanhosas.

Na área plana do cume da Serra da Cabreira encontra-se implementado um parque eólico de produção de energia elétrica renovável, composto por 11 aerogeradores que iniciaram o seu funcionamento em 2004. Na fase de construção das infraestruturas técnicas, procederam-se a aberturas de caminhos para acesso às torres que implicaram a remoção e destruição de lajes graníticas e de geoformas locais, figura 53, (Silva et al., 2006).

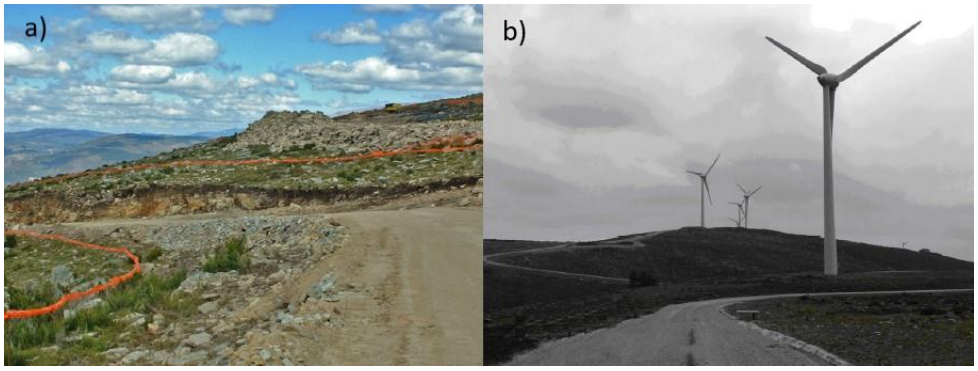


Figura 53 - Parque eólico na Serra da Cabreira: a) Construção de via de acesso; b) Torres eólicas (Fonte: Silva et al., 2006 – adaptado).

No planeamento para a realização dos trabalhos, segundo a empresa responsável, foi efetuado um estudo de Avaliação de Incidência Ambiental (AIncA), porque o empreendimento teria de ter a dimensão de instalação de mais de 20 aerogeradores para ser necessário proceder a um Estudo de Impacte Ambiental (EIA). No parecer da Avaliação de Incidências Ambientais constava como aspetos impactantes, a possibilidade de alteração da riqueza patrimonial e paisagista da paisagem e o facto de vir a ser comprometida a conservação da cobertura de lajes na Chã de Lousas (Silva et al., 2006).

Outro aspeto preocupante relaciona-se com a atividade antrópica de apropriação das "lousas". A construção das vias para o empreendimento eólico, facilitou o acesso e contribui igualmente para aumentar a destruição deste património geomorfológico (Silva et al., 2006).

Com o exposto nos parágrafos anteriores, podemos concluir que, os vestígios periglaciares da Serra da Cabreira, apesar de se encontrarem enquadrados como sendo pertencentes a uma área de Geossítios, poderão estar sujeitos a situações ameaçadoras da sua preservação.

Por fim, saliento a importância de se aprofundar o conhecimento sobre a geomorfologia e os ensinamentos que daí possam advir, no sentido de se ampliar a sensibilização para os aspetos da geoconservação.

5. Considerações Finais

O estudo dos vestígios das glaciações nas serras do Noroeste de Portugal, concretamente na Peneda e no Gerês, desenvolvido por Daveau e Coudê-Gaussen em 1977, em trabalhos de campo e de forma determinante, através de um voo de observação em que se capturaram fotografias, permitiu identificar na Serra da Cabreira a existência de um circo glaciar e de moreiras na vertente norte.

A presente dissertação desenvolve-se tendo como motivação a utilização de um VANT, na aquisição de dados fotogramétricos dos blocos (crioclastos) presentes nas vertentes envolventes ao Toco-Serra da Cabreira, propondo-se, implementar uma metodologia de análise morfológica dos Blockslope com recurso às ortofotos. Sabemos que os blocos pseudoestratificados, durante os períodos glaciares e periglaciares, sofreram intensa gelifração, sendo transportados pela ação do gelo e degelo em virtude da dimensão da massa da língua glaciar e do declive da encosta.

Poderemos relacionar quais os fatores que determinaram a posição e orientação da disposição atual dos Blockslope? A extensão máxima da língua glaciar em conjunto com o declive promovem o movimento. O atrito e o encadeamento dos blocos entre si opõe-se ao movimento.

A versatilidade dos VANT, comparativamente com outros meios aéreos, preconiza a sua utilização, contudo a qualidade final do processamento dos dados, dependerá das caraterísticas do sensor ótico instalado no drone. Nesse aspeto, o DJI-Phantom 4 Pro, garante, à priori, resoluções na ordem dos cm/pixel. A opção de realizar dois voos, a 60 e a 30 metros de altitude, desde o ponto de descolagem, teve como objetivo a salvaguarda de que as ortofotos resultantes do processamento, permitiriam aumentar o zoom da imagem sem distorção para a visualização das lajes graníticas.

O registo temporal e os dados geoespaciais, são dois importantes benefícios que as ortofotos potenciam. O planeamento e trajeto do voo em modo automático, guardado no software *dronedeploy*, possibilita a repetição de voos dentro dos mesmos parâmetros, permitindo realizar tarefas de monitorização da área e do estado dos Blockslope. A georreferenciação da ortofoto é também de grande importância porque

permite o tratamento de dados em programas de Sistemas de Informação Geográfica. As ferramentas disponíveis em softwares SIG, permitem arquitetar metodologias de com método científico. A metodologia empregue nesta dissertação visou delimitar 7 áreas com lajes graníticas, identificadas pelas ortofotos, selecionar os 20 maiores blocos de cada área, medir o comprimento e a largura. A orientação azimutal dos blocos foi determinada no eixo traçado na medida comprimento, tendo em conta o declive da encosta.

A análise dos dados resultantes da metodologia, evidenciam uma tendência no deslocamento das lajes (eixo maior – A), de 91 blocos, ou seja 65%, estão orientados entre os 45º e os 90º graus azimutais.

No capítulo metodológico, não foi possível concretizar nesta fase o estudo da inclinação dos 140 blocos selecionados que poderá ajudar a esclarecer a tendência acima referida, por esse facto, outras metodologias de investigação poderão ser desenvolvidas e aplicadas no prosseguimento de trabalhos futuros.

A fundamental vantagem de uma ortoimagem é a possibilidade de visualizar e analisar áreas e elementos da superfície terrestre, com muito maior produtividade e comodamente, junto de um computador. A tarefa de medir os 140 blocos e principalmente selecionar os 20 maiores, seria muito mais difícil e morosa no terreno, não sendo possível realizá-la sozinho. Portanto, as ortofotos são extremamente importantes neste tipo de análises.

Na geomorfologia da Serra da Cabreira o património geomorfológico periglaciar é um motivo de interesse e de admiração. A preservação desse património é imprescindível para a prossecução de investigações científicas e transmissão de conhecimento. A legislação que regula as medidas de conservação e proteção de rochas e formações geológicas, de interesse ou relevância nacional, classifica os locais a preservar como Geossítios. Felizmente, os vestígios periglaciares presentes na área envolvente ao Toco-Soutinho, com uma área aproximada de 10000 m^2, fazem parte do inventário de sítios com interesse geológico – Geossítios.

Contudo, pela sua relevância geomorfológica, não existe informação ilustrativa disponibilizada no local que elucide para a importância da preservação das acumulações de blocos periglaciários.

6. Referências Bibliográficas

Baqersad, J., Poozesh, P., Niezrecki, C., & Avitabile, P. (2017). Photogrammetry and optical methods in structural dynamics – A review. *Mechanical Systems and Signal Processing*, *86*, 17–34. https://doi.org/10.1016/j.ymssp.2016.02.011

Berni, J. A. J., Zarco-Tejada, P. J., Suárez, L., González-Dugo, V., & Fereres, E. (2008). *Remote sensing of vegetation from UAV platforms using lightweight multispectral and thermal imaging sensors*. https://www.researchgate.net/publication/237138644

Berra, E. F., & Peppa, M. V. (2020). *Advances and challenges of UAV SFM MVS photogrammetry and remote sensing: short review*. 533–538.

Brilha, J., & Pereira, P. (2014). *Património geológico de Portugal como base para ações de conservação da natureza e ordenamento do território Geoheritage of Portugal as the support for nature conservation and land-use planning* (Vol. 101). http://www.lneg.pt/iedt/unidades/16/paginas/26/30/185

Brum Ferreira, A. (2000). *Considerações sobre o arrefecimento Plistocénico em Portugal* (XXXV, pp. 89–101). Finisterra.

Brum Ferreira, A., Vidal Romani, J. R., Vilaplana, J. M., Rodrigues, M. L., Zêzere, J. L., & Monge, C. (1992). *Formas e depósitos glaciários e periglaciários da Serra do Geres-Xurés (Portugal; Galiza) Levantamento cartográfico Formes et dépots glaciaires et périglaciaires de la Serra do Geres-Xurés (Portugal; Galiza) Levé cartographique* (Vol. 17).

Calicis, E., Péres-Alberti, A., & Gomes, A. (2017). Recurso a orto-imagens de VANT para a identificação de testemunhos geomorfológicos da glaciação. In *FLUP - Departamento de Geografia - 8º Congresso Nacional de Geomorfologia* (pp. 203–206).

Clapuyt, F., Vanacker, V., & Van Oost, K. (2016). Reproducibility of UAV-based earth topography reconstructions based on Structure-from-Motion algorithms. *Geomorphology*, *260*, 4–15. https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2015.05.011

Colomina, I., & Molina, P. (2014). Unmanned aerial systems for photogrammetry and remote sensing: A review. In *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* (Vol. 92, pp. 79–97). Elsevier B.V. https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2014.02.013

Daveau, S., Brum-Ferreira, A., Ferreira, N., & Teles Vieira, G. (1997). Novas observações sobre a Glaciação da Serra da estrela. In APEQ (Ed.), *Estudos do Quaternário: Vol. I* (I, pp. 41–51). Estudos do Quaterrnário.

Daveau, S., & Devy-Vareta, N. (1985). Gélifraction Nivation et Glaciation d'abri de la Serra da Cabreira. In *1ª Reunião do Quaternário Ibérico* (pp. 75–84).

Elkhrachy, I. (2021). Accuracy Assessment of Low-Cost Unmanned Aerial Vehicle (UAV) Photogrammetry. *Alexandria Engineering Journal*, *60*(6), 5579–5590. https://doi.org/10.1016/j.aej.2021.04.011

Evans, D. J. A., Kalyan, R., & Orton, C. (2017). Periglacial geomorphology of summit tors on Bodmin Moor, Cornwall, SW England. *Journal of Maps*, *13*(2), 342–349. https://doi.org/10.1080/17445647.2017.1308283

Feio Mariano, & Daveau, S. (2004). *O Relevo de Portugal - Grandes Unidades Regionais* (Vol. 2). Associação Portuguesa de Geomorfólogos (APGeom).

Figueira, E. (2022). *Cartografia Geomorfológica dos vestígios glaciários na Serra do Soajo: um contributo para o ordenamento do território no Parque Nacional Peneda-Gerês*. FLUP - Faculdade de Letras da Universidade do Porto.

Fonstad, M. A., Dietrich, J. T., Courville, B. C., Jensen, J. L., & Carbonneau, P. E. (2013). Topographic structure from motion: A new development in photogrammetric measurement. In *Earth Surface Processes and Landforms* (Vol. 38, Issue 4, pp. 421–430). https://doi.org/10.1002/esp.3366

French, H. (2018). *The periglacial environment*. John Wiley & Sons Ltd.

Fussell, J., Rundquist, D., & Harrington, J. A. (1986). On Defining Remote Sensing. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, *52*, 1507–1511.

Gómez-Gutiérrez, Á., & Gonçalves, G. R. (2020). Surveying coastal cliffs using two UAV platforms (multirotor and fixed-wing) and three different approaches for the

estimation of volumetric changes. *International Journal of Remote Sensing*, *41*(21), 8143–8175. https://doi.org/10.1080/01431161.2020.1752950

Harriott, S., & Evans, D. J. A. (2022). Periglacial landforms of Dartmoor: an automated mapping approach to characterizing cold climate geomorphology. *Scottish Geographical Journal*, *138*(1–2), 45–72. https://doi.org/10.1080/14702541.2022.2093394

Hugenholtz, C. H., Whitehead, K., Brown, O. W., Barchyn, T. E., Moorman, B. J., LeClair, A., Riddell, K., & Hamilton, T. (2013). Geomorphological mapping with a small unmanned aircraft system (sUAS): Feature detection and accuracy assessment of a photogrammetrically-derived digital terrain model. *Geomorphology*, *194*, 16–24. https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2013.03.023

Iglhaut, J., Cabo, C., Puliti, S., Piermattei, L., O'Connor, J., & Rosette, J. (2019). Structure from Motion Photogrammetry in Forestry: a Review. In *Current Forestry Reports* (Vol. 5, Issue 3, pp. 155–168). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/s40725-019-00094-3

Jiang, R., Jáuregui, D. V., & White, K. R. (2008). Close-range photogrammetry applications in bridge measurement: Literature review. In *Measurement: Journal of the International Measurement Confederation* (Vol. 41, Issue 8, pp. 823–834). https://doi.org/10.1016/j.measurement.2007.12.005

Kardasz, P., & Doskocz, J. (2016). Drones and Possibilities of Their Using. *Journal of Civil & Environmental Engineering*, *6*(3). https://doi.org/10.4172/2165-784x.1000233

Kyriou, A., Nikolakopoulos, K., & Koukouvelas, I. (2021). How image acquisition geometry of uav campaigns affects the derived products and their accuracy in areas with complex geomorphology. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, *10*(6). https://doi.org/10.3390/ijgi10060408

Lisiecki, L. E., & Raymo, M. E. (2005). A Pliocene-Pleistocene stack of 57 globally distributed benthic δ 18O records. *Paleoceanography*, *20*(1), 1–17. https://doi.org/10.1029/2004PA001071

Oliva, M., Palacios, D., & Fernández-Fernández, J. M. (2021). *Iberia, Land of Glaciers*. Elsevier - Candice Janco.

Oliva, M., Palacios, D., Fernández-Fernández, J. M., Rodríguez-Rodríguez, L., García-Ruiz, J. M., Andrés, N., Carrasco, R. M., Pedraza, J., Pérez-Alberti, A., Valcárcel, M., & Hughes, P. D. (2019). Late Quaternary glacial phases in the Iberian Peninsula. In *Earth-Science Reviews* (Vol. 192, pp. 564–600). Elsevier B.V. https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2019.03.015

Oliva, M., Serrano, E., Gómez-Ortiz, A., González-Amuchastegui, M. J., Nieuwendam, A., Palacios, D., Pérez-Alberti, A., Pellitero-Ondicol, R., Ruiz-Fernández, J., Valcárcel, M., Vieira, G., & Antoniades, D. (2016). Spatial and temporal variability of periglaciation of the Iberian Peninsula. *Quaternary Science Reviews*, *137*, 176–199. https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2016.02.017

Pereira, P., & Gonçalves, A. B. (2001). Vestiges of the Quaternary glaciation in Cabreira Montain (North-West Portugal). *Estudos Do Quaternário / Quaternary Studies*, *4*, 61–68. https://doi.org/10.30893/eq.v0i4.41

Pereira, P., Pereira, D. I., & Brilha, J. (2010). "Geoformas e depósitos glaciários e periglaciários", uma das categorias temáticas para a inventariação do património geológico português The Framework "Glacial and periglacial landforms and deposits" in the scope of the Portuguese Geological Heritage Inventory. *Revista Eletrónica de Ciências Da Terra - Geosciences On-Line*, *18*(1645–0388), 1–4. http://

Pereira Paulo, & Pereira Diamantino. (2006). *Pseudoestratificacao Granitica na Serra da Cabreira: geoformas com influência climática e estrutural*. *3*, 215–219.

Pérez-Alberti, A. (2021). The glacial and periglacial heritage of the courel mountains unesco global geopark (Galicia). *Cuaternario y Geomorfologia*, *35*(1–2), 79–98. https://doi.org/10.17735/cyg.v35i1-2.89295

Pérez-Alberti, A., & Trenhaile, A. S. (2015). An initial evaluation of drone-based monitoring of boulder beaches in Galicia, north-western Spain. In *Earth Surface Processes and*

Landforms (Vol. 40, Issue 1, pp. 105–111). John Wiley and Sons Ltd. https://doi.org/10.1002/esp.3654

Railsback, L. B., Gibbard, P. L., Head, M. J., Voarintsoa, N. R. G., & Toucanne, S. (2015). An optimized scheme of lettered marine isotope substages for the last 1.0 million years, and the climatostratigraphic nature of isotope stages and substages. *Quaternary Science Reviews*, *111*, 94–106. https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2015.01.012

Ramos, N. (2021). *Proposta metodológica de baixo custo para monitorização de arribas potencialmente instáveis*. Faculdade de Letras da Universidade do Porto.

Rebelo, F. (1992). O Relevo de Portugal - Uma Introdução. In *Inforgeo - Universidade de Coimbra* (pp. 17–35).

Rosenberg, D., & Shtober-Zisu, N. (2010). *Food Processing with Ground Stone Tools in the Kingdom of Israel-Typological, Contextual and Comparative Regional Research View project The Nahal Galim/Ornit prehistoric quarries View project*. https://www.researchgate.net/publication/308777186

Sahebdivani, S., Arefi, H., & Maboudi, M. (2020). Rail track detection and projection-based 3D modeling from UAV point cloud. In *Sensors (Switzerland)* (Vol. 20, Issue 18, pp. 1–15). MDPI AG. https://doi.org/10.3390/s20185220

Schenk, T. (2005). *Introduction to Photogrammetry*. Department of Civil and Environmental Engineering and Geodetic Science. The Ohio State University.

Silva, P., Rodrigues, J., Catana, M., & Pereira, P. (2006). Impactes de parques eólicos no património geomorfológico: o caso da Serra da Cabreira Aeolian park impacts on geomorphological heritage: the example of Cabreira Mountain (NW Portugal). In VII Congresso Nacional de Geologia (pp. 985–988).

Smith, M. W., Carrivick, J. L., & Quincey, D. J. (2016). Structure from motion photogrammetry in physical geography. *Progress in Physical Geography*, *40*(2), 247–275. https://doi.org/10.1177/0309133315615805

Tommaselli, A. M. G. (2009). *Fotogrametria Básica-Introdução*.

Viana-Soto, A., & Pérez-Alberti, A. (2019). Periglacial deposits as indicators of paleotemperatures. A case study in the Iberian Peninsula: The mountains of Galicia. *Permafrost and Periglacial Processes*, *30*(4), 374–388. https://doi.org/10.1002/ppp.2026

Vieira, A., Gonçalves, A. J. B., & Almendra, R. (2005). *Vestígios de glaciação da Serra da Cabreira - cartografia geomorfológica de pormenor com recurso a tecnologias de geoprocessamento*.

Yang, B., Hawthorne, T. L., Torres, H., & Feinman, M. (2019). Using object-oriented classification for coastal management in the east central coast of Florida: A quantitative comparison between UAV, satellite, and aerial data. *Drones*, *3*(3), 1–15. https://doi.org/10.3390/drones3030060

Zarco-Tejada, P. J., Diaz-Varela, R., Angileri, V., & Loudjani, P. (2014). Tree height quantification using very high resolution imagery acquired from an unmanned aerial vehicle (UAV) and automatic 3D photo-reconstruction methods. *European Journal of Agronomy*, *55*, 89–99. https://doi.org/10.1016/j.eja.2014.01.004

Websites consultados	Data de acesso
https://geossitios.progeo.pt/geosites/toco-soutinho	8-9-2023
https://vieiraminhoturismo.com/roteiro-das-cabanas-dos-pastores/	8-9-2023
https://www.pgdlisboa.pt/leis/lei_mostra_articulado.php?nid=2333&tabela=leis&nversao Decreto-Lei 80/2015 de 14 de Maio – Regime Jurídico dos Instrumentos de Gestão Territorial (RGIGT):	6-9-2023
https://cm-vminho.pt/municipio/documentos-e-relatorios/plano-do-diretor-municipal/	2-9-2023
https://www.google.com/intl/pt-PT/earth/versions/#earth-pro	2-9-2023
https://geoportal.lneg.pt/pt/dados_abertos/cartografia_geologica/	27-8-2023
https://www.agisoft.com/features/professional-edition/	6-8-2023
https://www.dji.com/pt/phantom-4-pro	10-7-2023
https://www.dronedeploy.com/	18-6-2023
https://www.dronedeploy.com/	10-6-2023

Anexos

Anexo 1

PHANTOM 4 PRO

Especificações	
Quadricóptero	
Peso (incluindo bateria e hélices)	1388 g
Tamanho na diagonal (hélices excluídas)	350 mm
Velocidade máx. de ascensão	Modo S: 6 m/s (19,7 pés/s); modo P: 5 m (16,4 pés)
Velocidade máx. de descida	Modo S: 4 m/s (13,1 pés/s); modo P: 3 m (9,8 pés)
Velocidade máx.	72 km/h (45 mph) (modo S); 58 km/h (36 mph) (modo A); 50 km/h (31 mph) (modo P)
Ângulo máx. de inclinação	42° (modo S) e 35° (modo A); 25º (modo P)
Velocidade máx. angular	250°/s (modo S); 150°/s (modo A)
Teto máximo de serviço acima do nível do mar	6.000 metros (19.685 pés)
Resistência máxima à velocidade do vento	10 m/s
Tempo máx. de voo	Aprox. 30 minutos
Faixa de temperatura operacional	0 C a 40°C (32°F a 104°F)
Sistemas de Posicionamento por Satélite	GPS/GLONASS
Faixa de precisão do planagem	Vertical: ±0,1 m (com Vision Positioning); ±0,5 m (com GPS Positioning) Horizontal: ±0,3 m (com Vision Positioning); ±1,5 m (com GPS Positioning)